

TRATAMENTO DE SUPERFÍCIE E PINTURA

Série "Manual de Construção em Aço"

- Galpões para usos gerais
- Ligações em estruturas metálicas
- Edifícios de pequeno porte estruturados em aço
- Painéis de vedação
- Alvenarias
- Resistência ao fogo das estruturas de aço
- Tratamento de superfície e pintura

CELSO GNECCO

ROBERTO MARIANO

FERNANDO FERNANDES

TRATAMENTO DE SUPERFÍCIE E PINTURA

INSTITUTO BRASILEIRO DE SIDERURGIA
CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO

**RIO DE JANEIRO
2003**

Nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida por quaisquer meio, sem a prévia autorização desta Entidade.

Ficha catalográfica preparada pelo Centro de Informações do IBS/CBCA

G571t Gnecco, Celso
Tratamento de superfície e pintura / Celso Gnecco,
Roberto Mariano, Fernando Fernandes. -- Rio de Janeiro:
IBS/SBCA, 2003.
94 p.; 29cm. -- (Série Manual de Construção em Aço)

Bibliografia : p. 94

ISBN 85-89829-01-4

1. Pintura 2. Tratamento de superfície I. Títulos (série)
II. Mariano, Roberto III. Fernandes Fernando

CDU 75.021 (035)

Instituto Brasileiro de Siderurgia / Centro Brasileiro da Construção em Aço
Av. Rio Branco, 181 / 28º andar
20040-007 - Rio de Janeiro - RJ
e-mail: cbca@ibs.org.br
site: www.cbca-ibs.org.br

Sobre os autores

Celso Gnecco

Engenheiro Químico graduado pela Escola Superior de Química Oswaldo Cruz em São Paulo-SP em 1974.

Gerente de Treinamento Técnico da Sherwin Williams do Brasil Divisão Sumaré, desde 1990.

Cursos de pós-graduação na EPUSP em Corrosão, Polímeros, Papel & Celulose e Refinação de Petróleo.

Ex-chefe do Laboratório de Pesquisas e Desenvolvimento de Tintas do IPT Instituto de Pesquisas Tecnológicas, onde atuou por vinte e um anos.

Presidente da Comissão de Métodos de Ensaio em tintas da ABNT.

Professor em cursos das seguintes entidades: ABCEM, ABRACO, ABENDE, ABRAFATI, FDTE USP, FUPAM/FAU-USP.

Membro do Conselho Consultivo e Deliberativo da ABRACO desde 1993.

Roberto Mariano

Físico graduado pelo Instituto de Física da Universidade de São Paulo USP, em 1980.

Gerente de Serviços à Clientes, Assistência Técnica e Produtos da Linha Protective Coatings da Sherwin Williams do Brasil Divisão Sumaré desde 1985.

Ex-supervisor do Laboratório de Pesquisas e Desenvolvimento de Tintas do IPT Instituto de Pesquisas Tecnológicas, onde atuou por dez anos.

Participou de acompanhamento técnico de obras no exterior.

Participou de diversos Seminários, Congressos e Cursos Técnicos como palestrante e instrutor no Brasil e na América do sul, na área de Pinturas e Tintas Anticorrosivas desde 1978.

Fernando Fernandes

Curso Superior (Engenharia Química) até o quinto ano, na Escola Superior de Química Oswaldo Cruz em São Paulo - SP.

Trabalhou por onze anos no Instituto de Pesquisas Tecnológicas IPT em São Paulo-SP, no Laboratório de Tintas e Vernizes.

Trabalhou por um ano na GRC - Com. de Pinturas e Revest. Ltda. como chefe do Dep. Técnico do Controle da Qualidade.

Está na Sherwin Williams do Brasil - Divisão Sumaré desde 1995 no Departamento de Serviços à Clientes.

Foi Presidente da Comissão de Terminologia em Tintas da ABNT.

SUMÁRIO

Capítulo 1

Preparação de superfície do aço	5
1.1 Preparação de superfície do aço.....	6

Capítulo 2

Aplicação de tintas	23
2.1 Aplicação de tintas	24

Capítulo 3

Tintas e vernizes	45
3.1 Tintas e vernizes	46
3.2 Posição da tinta no sistema de pintura.....	55
3.3 Tipos de tintas, propriedades e usos.....	56
3.4 Sistemas de pintura.....	62
3.5 Manutenção.....	71

Capítulo 4

Noções de Corrosão	75
4.1 Noções de Corrosão.....	76
4.2 Proteção contra a corrosão por pintura anticorrosiva.....	82
4.3 Projeto x desempenho de pintura anticorrosiva	85
4.4 Cuidados durante a execução da pintura.....	93

Bibliografia	94
---------------------------	----

O setor siderúrgico, através do **Centro Brasileiro da Construção em Aço - CBCA**, tem a satisfação de tornar disponível para o universo de profissionais envolvidos com o emprego do aço na construção civil, mais este manual, o sétimo de uma série relacionada à Construção em Aço.

Este Manual vem completar a literatura disponível na área de tratamento de superfície e pintura das construções em aço, com informações e tabelas atualizadas, retiradas das principais fontes de referência, como normas técnicas brasileiras e internacionais e trabalhos de renomados especialistas brasileiros e internacionais nessa área.

Devido à sua característica didática, o presente manual foi estruturado em capítulos, nos quais serão abordados os seguintes tópicos: preparação da superfície do aço, aplicação de tintas, tipos de tintas e vernizes, sistemas de pintura, noções de corrosão e sua proteção e cuidados durante a execução da pintura.

Como centro dinâmico de serviços, com foco exclusivamente técnico e capacitado para conduzir uma política de promoção do uso do aço na construção, o **CBCA** está seguro de que este manual enquadra-se no objetivo de contribuir para a difusão de competência técnica e empresarial no País.

Espera-se que o trabalho seja útil aos fabricantes de estruturas em aço, profissionais liberais, construtoras, arquitetos, engenheiros, professores universitários, estudantes e entidades de classe que se relacionam com a construção em aço.

Capítulo 1

Preparação de
superfície do aço

1.1 Preparação de superfície do aço

Um dos fatores de maior importância para o bom desempenho da pintura é o preparo da superfície.

As tintas aderem aos metais por ligações físicas, químicas ou mecânicas. As duas primeiras ocorrem através de grupos de moléculas presentes nas resinas das tintas que interagem com grupos existentes nos metais. A ligação mecânica se dá sempre associada a uma das outras duas e implica na necessidade de uma certa rugosidade na superfície.

Preparar a superfície do aço significa executar operações que permitam obter limpeza e rugosidade. A limpeza elimina os materiais estranhos, como contaminantes, oxidações e tintas mal aderidas, que poderiam prejudicar a aderência da nova tinta. A rugosidade aumenta a superfície de contato e também ajuda a melhorar esta aderência.

O grau de preparação de superfície depende de restrições operacionais, do custo de preparação, do tempo e dos métodos disponíveis, do tipo de superfície e da seleção do esquema de tintas em função da agressividade do meio ambiente.

1.1.1 Contaminantes

O aço é uma liga ferro-carbono contendo outros elementos tais como Manganês, Silício, Fósforo e Enxofre, seja porque estes integravam as matérias primas (minérios e coque) com que foram fabricados, seja porque lhes foram deliberadamente adicionados, para lhes conferirem determinadas propriedades.

Qualquer material diferente destes, mesmo se tratando de óxidos ou sais do Ferro sobre a superfície do aço é considerado um contaminante.

Os contaminantes são classificados de acordo com a sua natureza, em:

- Óleos ou graxas - Óleos de usinagem, óleos de prensagem ou óleos protetivos temporários, lubrificantes ou combustíveis espalhados ou derramados sobre a superfície ou levados pelas mãos de

operadores de máquinas. Qualquer gordura, oleosidade ou material estranho à superfície prejudica a aderência das tintas.

- Suor - Líquido produzido pelas glândulas sudoríparas, com pH entre 4,5 e 7,5 eliminado através dos poros da pele. Contém água, gorduras, ácidos e sais. O ser humano chega a perder alguns litros por hora de suor visível e até 3 g por hora de Cloreto de Sódio (NaCl) em condições de exercícios físicos intensos e sob calor. As gorduras e oleosidades são produzidas pelas glândulas sebáceas.

O toque das mãos em superfícies a serem pintadas produz manchas que causam bolhas nas tintas e aceleram a corrosão. O manuseio das peças prontas para serem pintadas deve ser feito sempre com as mãos protegidas por luvas limpas. Mesmo quando as peças já estiverem pintadas, aguardando aplicações de demãos subseqüentes, não se deve tocá-las com as mãos desprotegidas, por que há o risco de contaminação entre as demãos.

O suor pode variar de pessoa para pessoa, mas basicamente sua composição é a seguinte:

Compostos	% em massa
Água	99,2 a 99,6
Sólidos	0,44 a 0,8
Substâncias orgânicas	
Glicose	0,006
Fenóis	0,005
Ácido láctico	0,150
Ácido úrico	0,0002
Ácido cítrico	0,0002
Sais	
Cloretos	0,070 a 0,346
Fosfatos	0,025
Sulfatos	0,004 a 0,006
Elementos	
Sódio	0,075 a 0,250
Potássio	0,017
Cálcio	0,007
Magnésio	0,001

Tabela 1.1 - Composição do suor

- Compostos solúveis - Qualquer tinta, por mais moderna e de melhor desempenho que possa ter, nunca deve ser aplicada sobre superfícies contaminadas por compostos solúveis, pois há um

grande risco de se formarem bolhas quando as peças forem submetidas a ambientes úmidos ou corrosivos.

As bolhas nas tintas se formam por causa da "OSMOSE", que é a passagem de água na forma de vapor através da película de tinta, do lado de menor concentração para o lado de maior concentração de compostos solúveis. Neste caso, a contaminação com sal está na superfície metálica e o vapor atravessa a película, se condensa e forma uma solução saturada de sais. Depois, por osmose, mais água permeia e forma uma bolha. A área onde ocorre a bolha é um ponto em potencial de corrosão, por causa do destacamento, do estriamento da película de tinta e por causa da presença da água sob esta película.

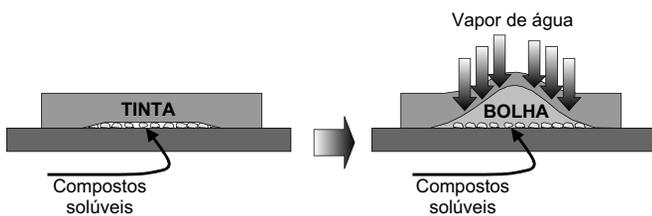


Figura 1.1 - Formação de bolhas por osmose

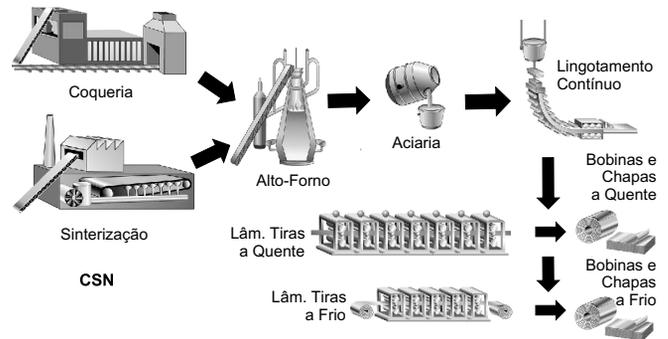
Geralmente as bolhas na pintura ocorrem em locais úmidos ou em condições de imersão. Dependendo do meio ambiente, os produtos de corrosão, podem conter os seguintes compostos solúveis em água:

- À beira mar - cloreto de sódio e cloreto férrico,
- Em ambiente industrial - nitratos, cloretos e sulfatos ferrosos
- Em ambiente rural - óxidos e hidróxidos ferrosos.

Por isso é que para situação de imersão ou exposição a ambientes muito úmidos, ou corrosivos, os compostos solúveis devem ser completamente removidos antes da pintura. Por esta mesma razão, não se deve utilizar areia ou granalhas contaminadas com produtos gordurosos ou sais, nos serviços de jateamento.

1.1.2 Carepa de laminação

A carepa de laminação é um contaminante muito especial, pois o aço já sai da siderúrgica com uma camada de óxidos de ferro formada na superfície do metal no processo de laminação a quente. A carepa se forma em perfis, tubos, vergalhões e chapas, na faixa de temperatura entre 1250 °C e 450 °C. Basta aquecer qualquer peça de aço em temperaturas dentro desta faixa que o oxigênio reage com o ferro e forma-se a carepa. Na laminação o aço é aquecido para torná-lo mais dúctil e para que seja possível passar as chapas entre os cilindros laminadores. Durante o resfriamento a chapa se recobre de uma camada cinza azulada.



Fonte: Companhia Siderúrgica Nacional - CSN

Figura 1.2 - Fluxograma de produção de chapas laminadas a quente e a frio

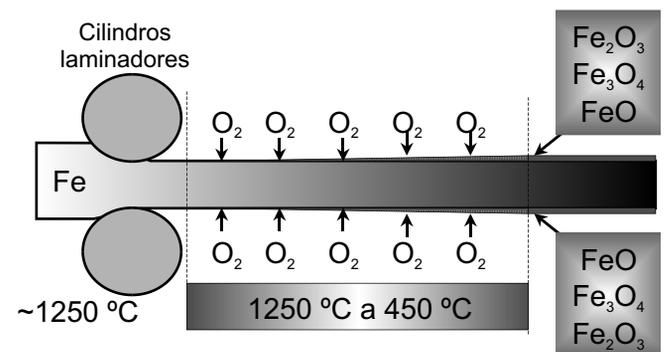


Figura 1.3 - A carepa se forma por reação do oxigênio do ar com o ferro do aço

A carepa recentemente formada tem as seguintes características:

- É aderente;
- É impermeável;
- É dura;

Preparação de superfície do aço

- É lisa;

- Pode apresentar espessuras de 15 até vários milhares de micrometros (a espessura depende do tempo que o aço fica exposto a temperaturas da faixa; esta é a razão do porque chapas grossas têm carepas mais espessas: quanto maior a massa, mais tempo demora a esfriar).

Uma análise rápida das características da carepa poderia levar a conclusão de que se trata de um ótimo revestimento anticorrosivo. Se comparássemos uma camada de carepa com uma camada de tinta, no mesmo ambiente pelo mesmo tempo, a pintura apresentaria um desempenho superior. A explicação é que a tinta apresenta flexibilidade suficiente para acompanhar os movimentos da base sem se trincar ou fissurar. A carepa não possui flexibilidade e não acompanha os movimentos do aço sobre a qual foi formada. Por possuir coeficiente de dilatação diferente do aço e com os movimentos diários de dilatação por causa do calor do sol e com a contração devido a temperaturas serem mais frias durante as noites, a carepa acaba se trincando e se destacando levando a tinta junto consigo.



Figura 1.4 - Chapa de aço laminado a quente com presença da carepa



Figura 1.5 - Chapa de aço laminado a quente com presença da carepa e da ferrugem

Outro problema da pintura sobre a carepa de laminação é que por ser uma superfície muito lisa, há dificuldade de aderência da tinta.

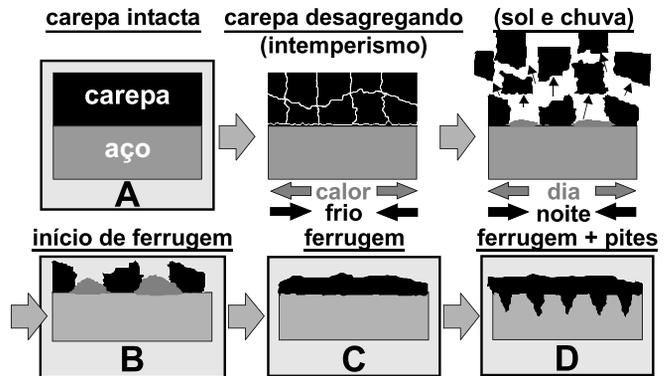


Figura 1.6 - Desagregação da carepa de laminação

Pelos motivos acima expostos a carepa deve ser removida completamente antes da pintura, inclusive a carepa dos cordões de solda, formada pelo intenso calor gerado na operação.

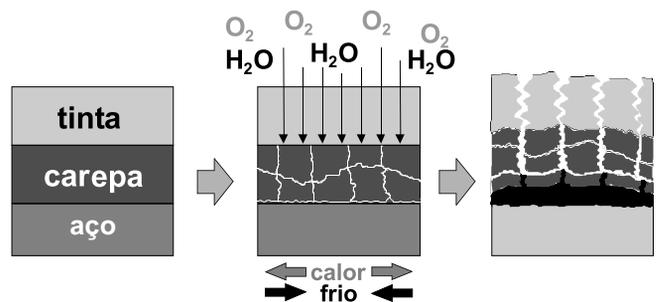


Figura 1.7 - Desagregação da carepa de laminação e da pintura

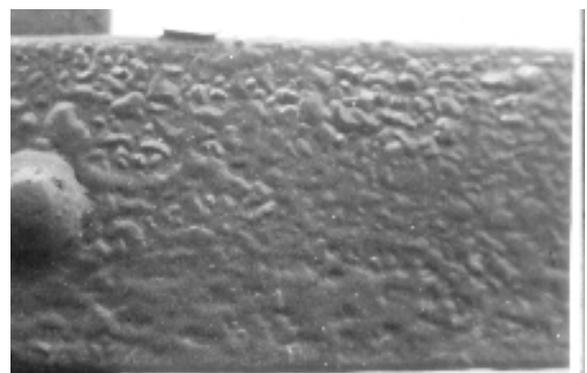


Figura 1.8 - Pintura alquídica em gradil de aço em ambiente corrosivo

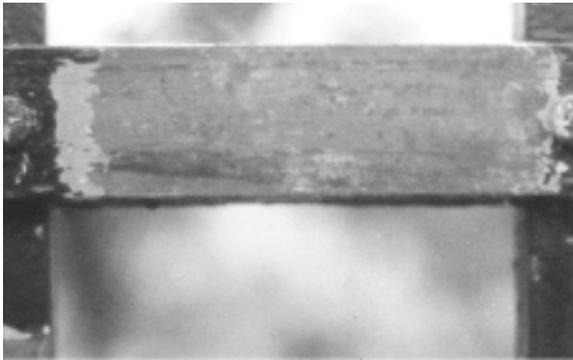


Figura 1.9 - Remoção da pintura, notando-se a presença da carepa de laminação

1.1.3 Limpeza por ferramentas manuais

1.1.3.1 Lixamento manual

Deve ser feito com lixas à prova de água (que não se desmancham quando molhadas). Os movimentos de lixamento devem ser circulares, cobrir toda a superfície a ser limpa e a lixa trocada assim que se perceber que foi desgastada na operação. As folhas de lixas são normalmente de tamanho 27,5 cm por 22,5 cm e trazem impressa no verso o tipo de lixa e a grana (o número que define a granulometria do abrasivo usado para fabricar a lixa). As lixas mais usadas na pintura industrial são as de número 40, 60, 80, 100, 120, 180, 220 e 400. As de número mais baixo, como as 40 e 60, são lixas grossas e servem para arrancar ferrugem e remover carepas desde que o abrasivo seja de carbureto de silício ou de óxido de alumínio. As de número mais altos, como 120 ou 180 servem para dar uma boa limpeza e produzem uma rugosidade ideal para a aderência das tintas. Já as de número 180 ou 220 são usadas depois das 100 ou 120, para conseguir um acabamento perfeito, em que as marcas de lixa não aparecem. As de número 400 servem para possibilitar a aderência entre as demãos das tintas.



Fonte: 3 M do Brasil

Figura 1.10 - Lixas em folhas

No Brasil estão sendo utilizadas duas normas que definem a granulometria do abrasivo nas lixas:

- ANSI: norma americana tem como símbolo “#”. Ex.: #100 ou #220, etc.

- FEPA: (Federacion Européene de Produits Abrasifs), norma européia, que vem substituindo gradativamente a norma ANSI, por ter uma classificação de grãos que permite melhor acabamento, maior consistência e maior produtividade. Usa como símbolo o “P” antes do número. Ex.: P100 ou P220, etc.

ANSI	FEPA	ANSI	FEPA	ANSI	FEPA
16	P16	150	P150	320	
20	P20	180	P180		P500
24	P24		P220	360	
30	P30		P240		P600
36	P36	220		400	P800
40	P40		P280		P1000
50	P50	240		500	
60	P60		P320		P1200
80	P80		P360	600	
100	P100	280			P1500
120	P120		P400		P2000

Tabela 1.2 - Comparativo entre as normas ANSI (Americana) e a FEPA (Européia)

Seqüência das lixas:

Para um bom acabamento em aço lixado, deve ser seguida uma seqüência ideal de uso de cada número de lixa. A grana seguinte não deve exceder mais que 50% do grão usado anteriormente. Se você iniciou o trabalho usando uma determinada grana, a próxima lixa deverá ter 50% a mais do que a inicial, para que o grão mais fino possa minimizar os riscos deixados pelo grão mais grosso.

Ex : Usou-se a grana 80, a próxima grana deverá ser a 100. “Pulamos” a próxima e teremos então a grana 120, como seqüência ótima de acabamento. Exemplos de seqüências de lixamento ideais :

- (mais grossa) 80 + 120 + 180 + 240 (mais fina) ou
- (mais grossa) 60 + 100 + 150 + 220 (mais fina).

Preparação de superfície do aço

1.1.3.2 Escovamento manual

Há no mercado escovas de madeira com cerdas de aço. São ferramentas rústicas que servem para retirar ferrugem e carepas soltas e não proporcionam uma limpeza muito rigorosa.



Fonte: Pincéis Tigre S/A

Figura 1.11 - Escovas manuais de madeira com cerdas de aço

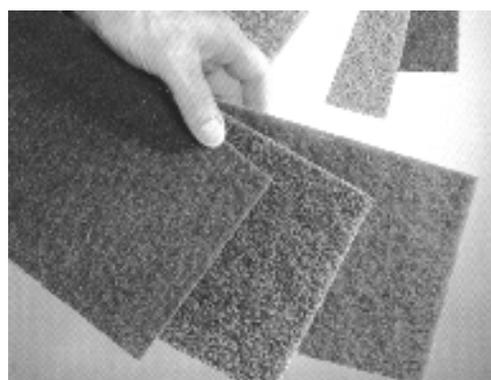
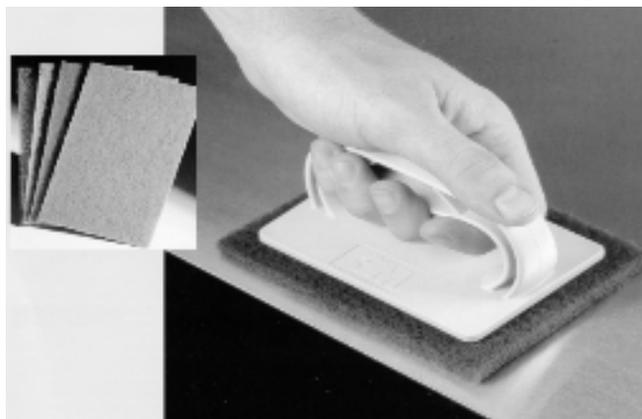
1.1.3.3 Manta não tecida

Atualmente as lixas e até escovas têm sido substituídas em alguns casos pelas mantas não tecidas de fibras sintéticas impregnadas com grãos abrasivos do Tipo Scotch-brite. São apresentadas em diversos formatos, como folhas de lixas, tiras, correias ou discos.

As letras A ou S indicam o material abrasivo que compõe a manta. Assim, A significa Óxido de alumínio e S significa Carbureto ou Carbetto de Silício. As mantas de cor vermelha são de Óxido de alumínio e as de cor cinza são de Carbetto e Silício. A granulometria destes abrasivos são: Grosso, Médio, Fino e Super fino. Este material tem poder abrasivo, porém mais brando que as lixas tradicionais. São resistentes aos solventes e a água e podem ser empregados em atividades onde não se deseja poeira no ambiente. Dão um acabamento mais fino, não apresentando as marcas típicas de lixas. São mais duráveis do que as lixas.

Letra	Granulometria	Cor	Tipo de abrasivo
A	Grosso	Vermelho	Óxido de Alumínio
A	Médio	Vermelho	Óxido de Alumínio
A	Fino	Vermelho	Óxido de Alumínio
S	Super fino	Cinza	Carbureto de Silício

Tabela 1.3 - Identificação da manta em função do tipo de abrasivo



Fonte: 3 M do Brasil

Figura 1.12 - Manta não tecida de fibras sintéticas impregnadas com abrasivos

1.1.4 Limpeza por ferramentas mecânicas

1.1.4.1 Ferramentas mecânicas (elétricas ou a ar comprimido)

As ferramentas mecânicas são equipamentos movidos a energia elétrica ou a ar comprimido (pneumáticas), que por terem mais força, proporcionam melhor rendimento e melhor qualidade na limpeza do que as manuais.

1.1.4.2 Escovas rotativas

São utilizadas sobre aço novo ou enferrujado ao grau C da norma sueca. Não são recomendadas para aço com carepa intacta, pois a carepa é mais dura do que as cerdas de aço das escovas.

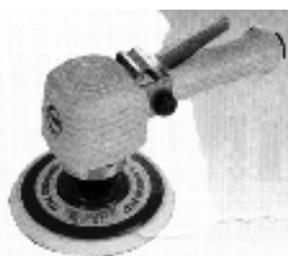
1.1.4.3 Lixadeiras rotativas

Promovem uma limpeza de superfície razoável e conseguem remover carepa, porém este processo, é antieconômico e inviável porque o seu rendimento é muito baixo. No entanto, para a remoção de ferrugem e tintas velhas e criar uma rugosidade razoável, a lixa pode ser empregada e deve ser mantida em um ângulo de 15° sobre a peça a ser trabalhada, pressionando levemente. Uma pressão excessiva provocará um rendimento baixo, além de desgastar rapidamente o disco de lixa.



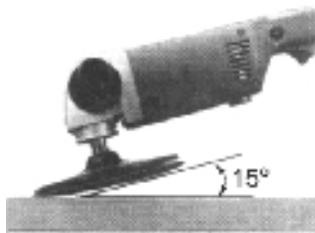
Fonte: Raiman & Cia Ltda

Figura 1.13 - Lixadeira orbital reta elétrica



Fonte: Puma Ferramentas Pneumáticas

Figura 1.14 - Lixadeira circular pneumática



Fonte: Makita

Figura 1.15 - Ângulo de operação da lixadeira circular

1.1.4.4 Pistola de agulhas

A pistola de agulhas, agulheira, ou desencrustador é uma ferramenta a ar comprimido que percute agulhas de (carbeto de tungstênio) por meio de um martetele pneumático. Remove ferrugens, tintas velhas e até carepas, mas tem baixa eficiência. É usada só onde outros métodos são impraticáveis, pois produz muito ruído e vibração.



Figura 1.16 - Pistola de agulhas, agulheira ou desencrustador



Figura 1.17 - Limpeza de porcas e parafusos

1.1.5 Limpeza por jateamento abrasivo

A limpeza por jateamento abrasivo pode ser feita de duas maneiras: por ar comprimido ou por turbinas centrífugas.

1.1.5.1 Abrasivos

Os abrasivos mais usados em operações de jateamento são: areia, granalhas de aço e óxido de alumínio

Areia

A areia é um abrasivo natural, proveniente de rios ou de jazidas. É de baixo custo. Seu uso só é recomendado em campo aberto, onde não há restrições, pois possui alto teor de sílica livre, que pode provocar problemas respiratórios e silicose. O impacto contra a superfície provoca a quebra das partículas produzindo poeira. Após o jateamento, cerca de 70 % da areia resulta em pó e a sua reciclagem chega no máximo a dois ciclos. Depois disso a areia é transformada em pó e não é possível mais o seu aproveitamento. No caso de jateamento de tintas velhas e contendo metais pesados, o descarte do pó é um grande problema. Por estes motivos de saúde, a areia é proibida em diversos Estados brasileiros. A poeira pode ser prejudicial também a equipamentos elétricos e mecânicos. A

Preparação de superfície do aço

areia para uso na preparação de superfícies por jateamento deve ser: isenta de sais, de umidade, de argila, de mica, de carvão e isenta de conchas.

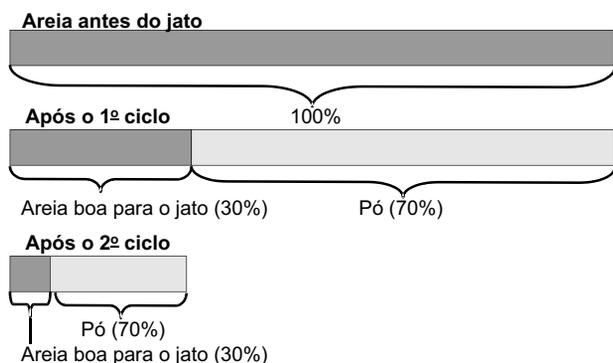


Figura 1.18 - Gráfico de quebra da areia após jateamento

A areia é usada somente em locais abertos onde não há restrição ao pó. Além destes aspectos, o uso de areia em cabinas se torna antieconômico pois o seu custo final é cerca de 6 vezes mais caro do que o das granalhas. As granalhas permitem reciclagens de até 350 vezes.

Granalhas de aço

Existem sistemas de recuperação automáticos das granalhas, com piso gradeado, elevadores de canecas e sistema de purificação das granalhas. O sistema mais simples, de recuperação manual, é muito penoso para o operador, pois uma pá de granalhas pesa quase 15 kg. As granalhas são feitas com um tipo especial de aço, de alta dureza e são apresentadas em dois formatos, esféricas (shot) e angulares (grit).

As shot tem dureza Rockwell C de 40 a 50 e as grit de 55 a 60.

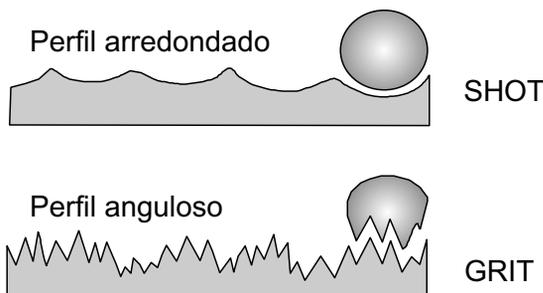


Figura 1.19 - Perfil obtido com cada formato de granalha

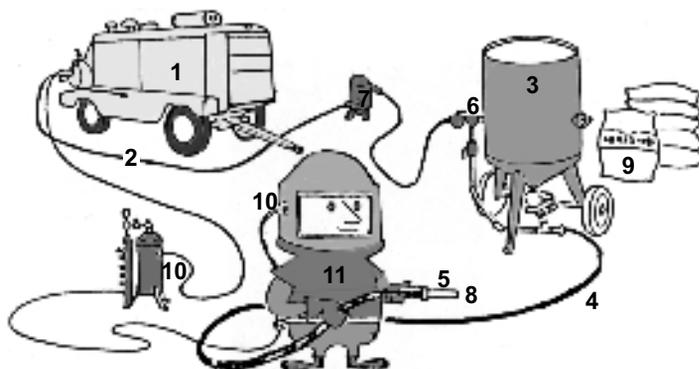
Sinterball

Obtido da bauxita sinterizada, não contém sílica (mais de 80 % de óxido de alumínio). É um material duro, leve e não enferruja. É apresentado nas formas esférica e angular.

Pode ser usada com pressões mais baixas (60 a 70 lb/pol²). Produz pó preto quando usada com pressões altas. Pequena porção do material fica encrustada no aço o que torna a coloração da superfície pouco mais escura do que em uma jateada com areia ou granalha. No entanto este material encrustado não prejudica a aderência das tintas nem causa problemas de corrosão por que não é metálico e por isso não causa corrosão galvânica.

1.1.5.2 Pressão do ar comprimido

O abrasivo é impulsionado por meio de ar comprimido com pressões ao redor de 7 kg/cm² (100 lb/pol²).



- | | |
|-------------------------------------|---|
| 1 - Compressor | 8 - Jato abrasivo |
| 2 - Mangueira de ar comprimido | 9 - Abrasivo (areia, granalhas ou óxido de alumínio) |
| 3 - Máquina de jato | 10 - Filtro de ar para o jateador e capacete de segurança |
| 4 - Mangueira de abrasivo | 11 - Roupa de couro (raspa) ou de borracha |
| 5 - Bico de jato | |
| 6 - Válvulas de controle remoto | |
| 7 - Filtro separador de água e óleo | |

Fonte: Clemco Industries

Figura 1.20 - Equipamento completo de jateamento abrasivo

1.1.5.3 Perfil de rugosidade

No impacto das partículas do abrasivo contra a superfície, a carepa de laminação é arrancada e parte do metal também. Este impacto provoca uma aspereza na superfície.

Quando se executa o processo completo de jateamento da superfície (incluindo a lavagem inicial com água e detergente), consegue-se limpeza e rugosidade.

A rugosidade provocada pelo abrasivo na superfície pode ser medida e é chamada de perfil de rugosidade ou perfil de ancoragem.

O perfil deve ser controlado, porque se for muito alto podem ficar picos fora da camada de tinta e por este motivo, a corrosão se iniciará a partir destas áreas e se for muito baixo a tinta pode não aderir satisfatoriamente.

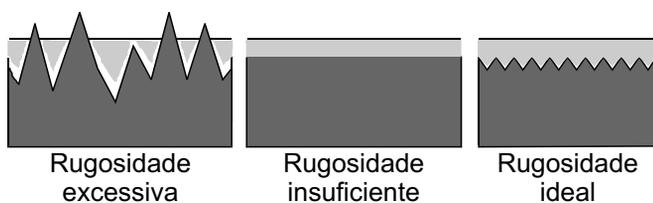


Figura 1.21 - Comparação entre perfis de rugosidade

O perfil de rugosidade ideal é aquele entre 1/4 e 1/3 da espessura total da camada de tinta somadas todas as demãos. Por exemplo, se a espessura é igual a 120 μm , o perfil deverá estar entre 30 e 40 μm .

1.1.5.4 Medida da rugosidade

Os aparelhos mais comuns e mais usados para medições de rugosidade de superfícies jateadas são: o rugosímetro (profile gauge) e os discos comparadores.

Rugosímetro

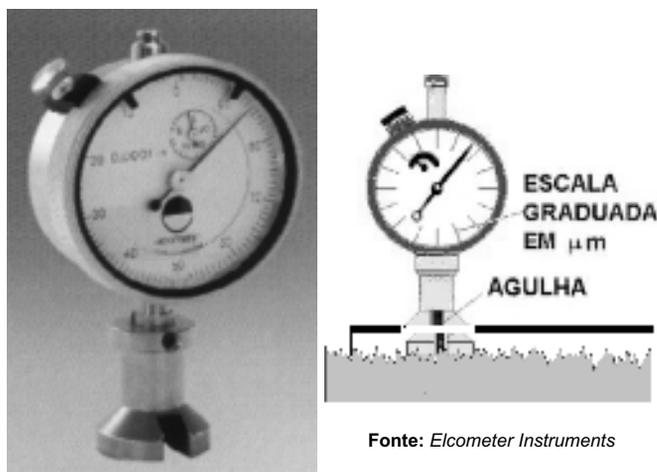
Trata-se de um relógio comparador com uma agulha, uma base de seção circular plana e um corte nesta base para visualizar a agulha.

Quando apoiado sobre uma placa plana, de preferência de cristal, a agulha toca o plano da base e o aparelho marca zero. Ao ser colocado sobre a superfície jateada, a base circular é apoiada sobre os picos mais altos e a agulha desce ao fundo dos vales. A diferença entre o plano dos picos e os fundos dos vales é indicada no relógio comparador

em micrometros e representa a medida do perfil de rugosidade em cada ponto onde é feita a leitura.

Deve-se tomar cuidado ao deslocar o aparelho para não arrastá-lo, danificando a agulha. O aparelho deve ser levantado, mudado de posição e novamente colocado cuidadosamente sobre a superfície. Realizar várias medidas para se obter uma média representativa do perfil da rugosidade.

Deve-se evitar também que sejam feitas medidas sobre superfícies curvas ou muito danificadas, como no grau D (com pites) da norma Sueca SIS 05 5900-67, pois as leituras seriam afetadas de grandes erros.



Fonte: Elcometer Instruments

Figura 1.22 - Rugosímetro (relógio comparador)

Discos Comparadores

Estes discos, criados e produzidos pela KTA-Tator, Inc., chamados de Keane-Tator Surface Profile Comparator, de níquel de alta pureza, na verdade são compostos de 5 segmentos feitos a partir de duplicatas de superfícies com perfil de rugosidade de 0,5 ; 1 ; 2 ; 3 e 4 mils (mils corresponde a milésimos de polegada), ou seja, aproximadamente 12,5 μm ; 25 μm ; 50 μm ; 75 μm e 100 μm (1 mil corresponde a 25,4 micrometros).

Estas superfícies foram jateadas com areia e com granalhas e medidas em microscópio com aumento de 250 vezes. Primeiro foram focalizados os picos e depois os fundos dos vales adjacentes. As medidas foram convertidas para mils com precisão de 0,01 mils.

As duplicatas em níquel foram feitas com tolerância de mais ou menos 50 micrômetros, ou seja 1,27 μm

(1.000 micro inches = 25,4 μm)

As 5 duplicatas, são verdadeiramente réplicas das superfícies originais medidas com precisão pelo microscópio.

Os 5 segmentos são dispostos em círculo, formando um disco com o orifício central vazado, de maneira que colocando-o sobre a superfície a ser medida e iluminando o seu centro com uma lanterna especial, provida de uma lente de 5X de aumento, esta superfície pode ser comparada com os cinco segmentos para se determinar qual deles mais se assemelha com a superfície comparada. O resultado será igual a um dos segmentos ou interpolações entre eles.

Existem três tipos de discos, um para superfícies jateadas com areia (sand), outro com granalhas shot (arredondadas) e o outro com granalhas grit (angulares).

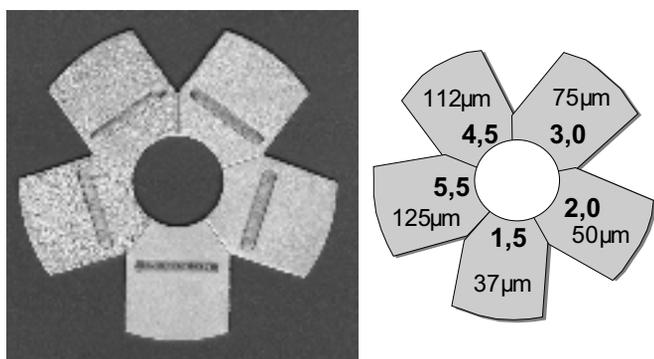


Figura 1.23 - Disco e esquema comparador para shot ou grit

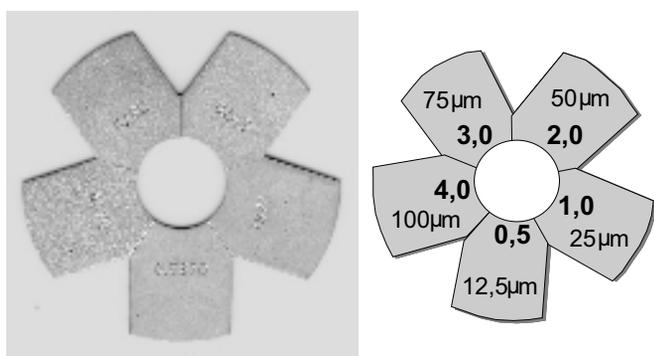


Figura 1.24 - Disco e esquema comparador para areia

1.1.5.5 Granulometria do abrasivo

O perfil de jateamento depende da pressão do ar comprimido, da dureza da superfície, do formato das partículas, e principalmente da granulometria do abrasivo (tamanho das partículas).

A pressão ideal é 7 kg/cm², a dureza do aço não depende do jateador, portanto para obter o perfil desejado, controla-se a granulometria do abrasivo. Partículas maiores produzem perfil mais alto e partículas menores, perfil mais baixo.

Na tabela apresentada a seguir pode-se encontrar o perfil médio de rugosidade em função da granulometria dos abrasivos:

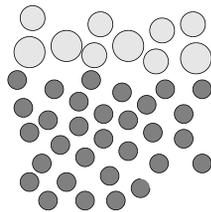
ABRASIVO	CLASSIFICAÇÃO PENEIRAS	RUGOSIDADE MÉDIA (μm)
AREIA		
Muito fina	80 - 100	20
Fina	40 - 80	30
Média	18 - 40	45
Grossa	12 - 50	55
GRANALHA DE AÇO (shot)	REDONDA	
S-110	30	25
S-170	20	35
S-230	18	65
S-330	16	70
S-390	14	75
GRANALHA DE AÇO (grit)	ANGULAR	
G-50	25	70
G-40	18	75
G-25	16	80
G-16	12	150

Tabela 1.4 - Perfil de rugosidade em função da granulometria do abrasivo

Os valores de perfil de rugosidade média mostrados na tabela acima são obtidos com pressão de 7 kg/cm², tanto para areia como para as granalhas.

No caso de areia é importante usar sempre um par de peneiras para obter a granulometria certa. Por exemplo, se o perfil especificado é entre

30 e 40 μm , a areia deverá ser a fina. A porção da areia que interessa é a que passa na peneira 40 e fica retida na 80. Já as granalhas são vendidas nas granulometrias especificadas para cada tipo, S ou G. Ex.: A granalha G-40 é classificada na peneira de número 18.



1.1.5.6 Tempo entre o jateamento e a pintura

O tempo em que a superfície jateada pode ficar sem pintura, depende das condições de clima e de localização do ambiente onde a superfície ficará exposta.

- Entre 30% e 70%, o tempo de umidade relativa do ar pode ser de 8 horas.
- Entre 70% e 85%, o tempo de umidade relativa do ar não deve passar de 4 horas.
- Ambiente industrial agressivo ou à beira mar, não deve passar de 2 horas.
- Se houver poeira no ar ou chuvisco de torres de resfriamento, deverá ser providenciada a cobertura do local com lonas e o tempo deverá ser o mínimo possível.

Se a umidade relativa do ar estiver acima de 85%, não deve ser efetuado nem o serviço de jateamento, nem o de pintura.

Os tempos acima são apenas indicativos, pois cada situação particular deve ser avaliada quanto aos contaminantes presentes na atmosfera.

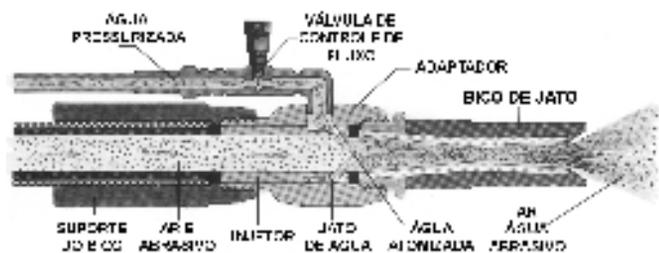
1.1.6.1 Jateamento com areia a úmido

Este processo é praticamente o mesmo do jateamento a seco, exceto que é introduzida água na corrente de ar + areia. Existem vários métodos, todos baseados no molhamento da areia antes do bico, no bico, ou após o bico.

O processo em que a mistura da água com a areia é feita antes desta chegar ao bico é mais difícil de executar, pois a areia molhada pode empelotar e entupir o bico ou a mangueira, mas também existe no mercado.

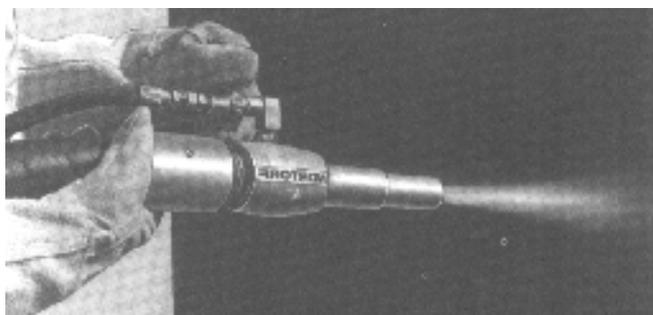
O processo que mistura a água após o bico, não é tão eficiente e consome um volume muito grande de água, além de ser muito pesado para o jatista. Por este motivo já deixou de ser utilizado.

O processo que tem apresentado melhores resultados é o que molha a areia no meio do bico.



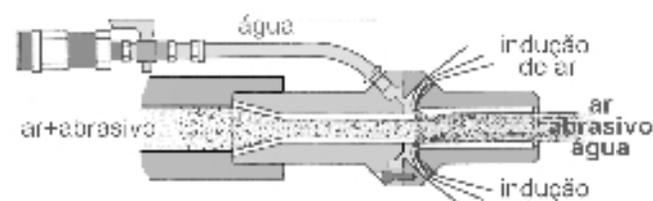
Fonte: Clemco Industries

Figura 1.26 - Desenho do Kit WET BLAST



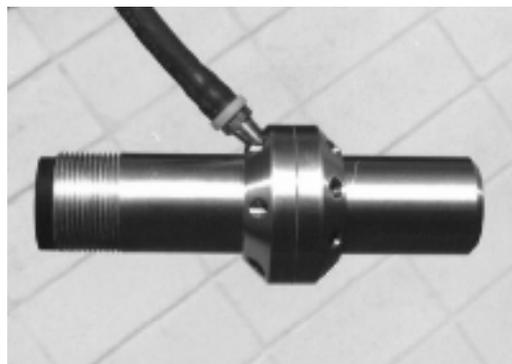
Fonte: Nortorf Máquinas e Equipamentos Ltda.

Figura 1.27 - Equipamento WET BLAST



Fonte: CMV

Figura 1.28 - Esquema de funcionamento do bico tipo WIN



Fonte: CMV

Figura 1.29 - Bico tipo WIN

Jateamento sem inibidor de corrosão

- A água deve ser limpa e ligeiramente alcalinizada (pH acima de 8,5);
- O processo deve ser rápido e após o jateamento, deve-se secar rapidamente a superfície com ar comprimido limpo e seco.

Jateamento com inibidor de corrosão

- O inibidor mais usado é o Nitrito de Sódio (NaNO_2);
- Concentração mais usada: 0,5% (1 kg de nitrito para cada 200ℓ de água);
- Após o jateamento à úmido, deve se lavar com água limpa e secar rapidamente com ar comprimido limpo e seco. O grau máximo conseguido é Sa 2 1/2.

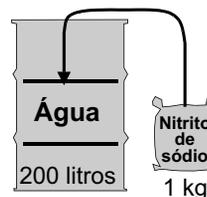


Figura 1.30 - Proporção de Nitrito de sódio em água: 0,5 %

O jateamento com inibidor do tipo Nitrito de Sódio necessita de muita atenção na execução em virtude de ser um sal solúvel em água. Se os resíduos não forem completamente removidos podem causar bolhas e corrosão, principalmente em frestas e superposições de chapas, quando estas são expostas em ambientes úmidos. O Nitrito dissolvido em água proporciona um pH alcalino.

Se o tempo entre o jateamento a úmido e a pintura for longo e a superfície começar a amarelar tendendo o marrom-alaranjado, deve-se esfregar uma escova de aço para remover a ferrugem formada. É recomendável que sejam utilizadas tintas do tipo epoximastic (surface tolerant) para este tipo de preparação de superfície, já que dificilmente se consegue evitar a ferrugem instantânea (flash rust).

1.1.6.2 Hidrojateamento

Neste processo é empregada somente água sob alta pressão. O impacto do jato de água contra a superfície com pressão ao redor de 40.000 lb/pol² consegue remover ferrugens, tintas velhas e até carepa de laminação. Mas por não conter partículas sólidas, a água não produz rugosidade suficiente na superfície. O hidrojateamento é indicado para superfícies que já foram jateadas uma vez, por que removendo a tinta velha, expõe a rugosidade do jateamento original.

1.1.6.3 Hidrojateamento com areia

Este processo é semelhante ao hidrojateamento, porém há a introdução da areia na corrente de água. As pressões são menores do que no hidrojateamento, da ordem de 6.500 lb/pol². Consegue-se rugosidade suficiente para a aderência das tintas.

1.1.7 Limpeza por turbinas centrífugas

Outra forma de limpeza de superfícies com abrasivos, porém sem jato de ar, é feito por máquinas equipadas com turbinas centrífugas (Wheel blasting). A turbina é um rotor centrífugo com palhetas que ao girar em alta velocidade arremessa as partículas de aço (granalhas) contra as peças. Este método é muito eficiente, não produz poeira e serve para perfis, tubos, chapas e vigas e também para peças com geometria complicada. No primeiro caso, as peças passam pelos rotores que ficam em posições fixas. As peças com geometria complicada entram na câmara e giram na frente das turbinas centrífugas que também são fixas.

Em algumas linhas há até 8 rotores dispostos em várias posições, para que o abrasivo atinja as

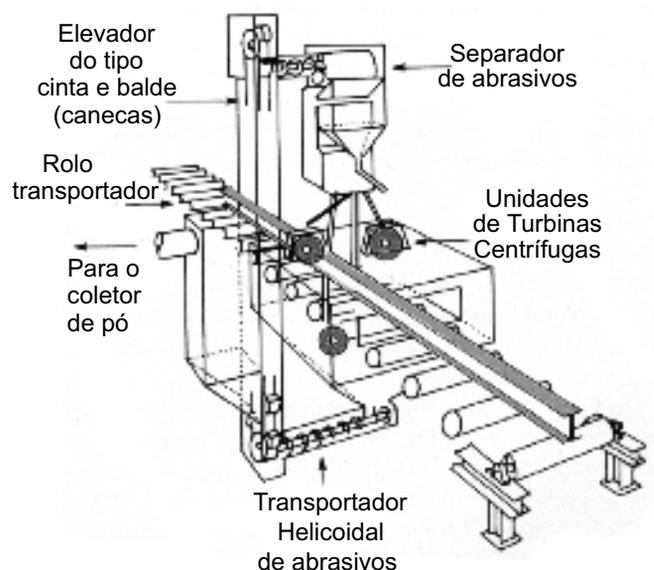
peças sob muitos ângulos diferentes. O abrasivo é recolhido no fundo da câmara, separado dos resíduos e retorna para as turbinas. A recuperação automática do abrasivo, permite grande número de reciclagens, o que torna o processo econômico.

Se a cabina de pintura é situada logo em seguida à câmara com turbinas centrífugas na linha, a peça sai levemente aquecida, evitando a condensação de umidade e consegue-se uma melhor qualidade de pintura.

Existem máquinas com turbinas centrífugas com gancheiras móveis onde as peças passam pela câmara entrando por uma porta e saindo pela outra ou são colocadas dentro por uma única porta e máquinas maiores com mesa giratória onde as peças realizam movimento orbital.

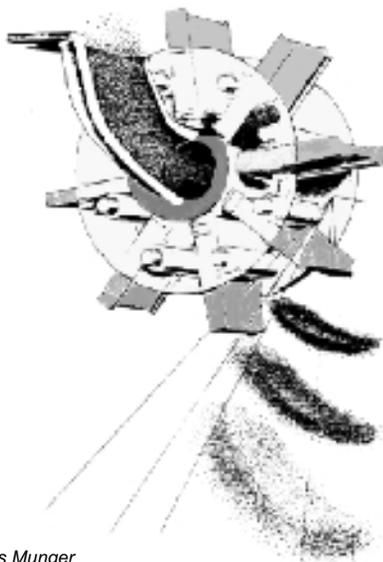
As turbinas podem operar com diversos tipos de abrasivos, mas os equipamentos mais comuns costumam operar com granalhas esféricas de aço carbono ou inox.

As turbinas são construídas em aço fundido de alta liga de cromo com grande resistência à abrasão, balanceadas estática e dinamicamente, para garantirem maior produtividade. As turbinas possuem válvulas que permitem regular com precisão a quantidade de abrasivo a ser lançada pelas palhetas.



Fonte: Charles Munger

Figura 1.31 - Equipamento de jateamento por turbinas centrífugas



Fonte: Charles Munger

Figura 1.32 - Turbina centrífuga

1.1.8 Padrões de limpeza de superfície

A norma Sueca SIS 05 5900 define os seguintes padrões:

Graus de corrosão (enferrujamento)

Os padrões de grau de corrosão são definidos através de fotografias do estado de intemperismo em que a superfície de aço carbono laminado a quente, se encontra para a pintura, antes da limpeza. Os padrões visuais fotográficos são 4:

- **A** - Superfície com carepa de laminação intacta.

- **B** - Superfície com carepa de laminação se destacando e com presença de ferrugem.

- **C** - Superfície com corrosão generalizada e sem carepa.

- **D** - Superfície com corrosão generalizada e com pontos profundos de corrosão, chamados pites ou alvéolos, em virtude de corrosão localizada.

Antes do preparo de superfície, todas as camadas espessas de ferrugem deverão ser removidas por martelagem. Do mesmo modo, as oleosidades, gorduras e sujidades visíveis, devem também ser removidas com solventes ou solução de detergentes em água. Os sais são dissolvidos e removidos somente com água.

Graus de limpeza

Os padrões de graus de limpeza também são definidos através de fotografias do estado em que as superfícies ficam após o tratamento de limpeza e remoção da poeira e partículas soltas. Os 20 padrões visuais fotográficos que são comparados imediatamente antes da aplicação da tinta, são os seguintes:

- **St 2** - Limpeza manual - executada manualmente com ferramentas, como escovas, raspadores e lixas;

- **St 3** - Limpeza mecânica - executada com ferramentas como escovas rotativas pneumáticas ou elétricas;

Tipos de preparação	SIS 05 59 00	VIS 1 SSPC	NACE 01 70	NBR	ISO 8501-1	BS 4232	PETROBRÁS
Ferramentas mecânicas							
Limpeza manual	St 2	SP 2		7346	St 2		N 6
Limpeza motorizada	St 3	SP 3		7347	St 3		N 7
Jato abrasivo							N 9
Ligeiro (brush)	Sa 1	SP 7	NACE 4	7348	Sa 1	Brush-off	Sa 1
Comercial	Sa 2	SP 6	NACE 3	7348	Sa 2	3 rd quality	Sa 2
Metal quase branco	Sa 2 1/2	SP 10	NACE 2	7348	Sa 2 1/2	2 nd quality	Sa 2 1/2
Metal branco	Sa 3	SP 5	NACE 1	7348	Sa 3	1 st quality	Sa 3
Outros tipos							
Limpeza com solventes		SP 1					N 5
Limpeza a fogo		SP 4					
Decapagem química		SP 8					
Intemperismo e jato abrasivo		SP 9					N 11

Tabela 1.4 - Correlação entre as normas

- **Sa 1** - Jato ligeiro “brush off” - executado de forma rápida, quase uma “escovada” com o jato. O rendimento aproximado desta operação, considerando o grau C de corrosão é entre 30 a 45 m²/h por bico;

- **Sa 2** - Jato comercial - executado de forma um pouco mais minuciosa do que no Jato ligeiro. Cerca de 65% das carepas e ferrugem são eliminadas. O rendimento aproximado é de 15 a 20 m²/h por bico;

- **Sa 2½** - Jato ao metal quase branco - mais minucioso que o anterior, sendo 95% de carepas e ferrugens removidas. A coloração da superfície é cinza clara, sendo toleradas pequenas manchas. O rendimento aproximado é de 10 a 15 m²/h por bico;

- **Sa 3** - Jato ao metal branco - 100% das carepas e ferrugens removidas. É o grau máximo de limpeza. A coloração da superfície é cinza clara e uniforme. O rendimento aproximado é de 6 a 12 m²/h por bico.

Determinado o estado inicial da superfície (A, B, C ou D), definido o tipo de limpeza (designada pelas letras: St ou Sa) e o grau de limpeza (designado por números) é então estabelecida a notação alfanumérica que define a especificação da limpeza de superfície, por exemplo: B Sa 2 1/2.

Obs.: É possível obter o grau St 2 de limpeza com ferramentas mecânicas basta para isto gastar menos tempo na operação e também é possível obter St 3 com ferramentas manuais. Logicamente este último grau é mais difícil de se conseguir por envolver maior tempo do operador na limpeza, mas é possível.

1.1.9 Processos de fosfatização

A fosfatização cria na superfície metálica, cristais de fosfato do metal, convertendo-a de metálica a não metálica. A finalidade da fosfatização é melhorar a aderência de tintas e tornar a superfície mais resistente à corrosão. Somente a fosfatização, aumenta a resistência à corrosão em torno de 5 vezes, porém com fosfatização mais pintura (2 demãos de tinta sintética), o aumento é de cerca de 700 vezes. A fosfatização consiste na reação de

ácido fosfórico diluído e outras substâncias químicas formando uma camada de fosfato cristalino insolúvel.

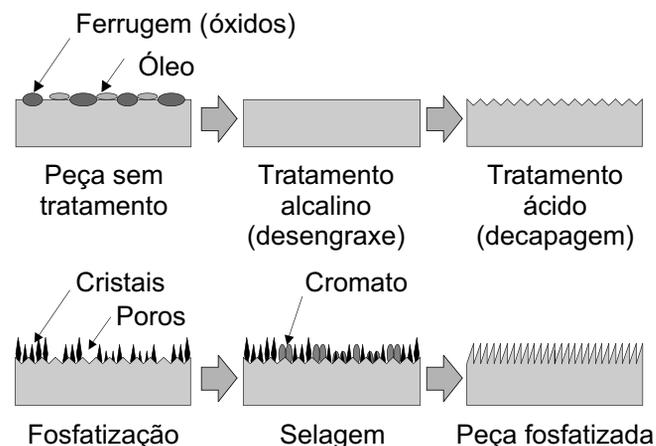


Figura 1.33 - Processo de fosfatização (simplificado)

A fosfatização pode ser efetuada de 3 maneiras: Fosfato 3 em 1, Fosfato por imersão, Fosfato por spray.

Fosfato 3 em 1

É um fosfato simples com relativa resistência anticorrosiva, onde os componentes (desengraxante, decapante e fosfatizante) são formulados e embalados juntos. Esse processo é empregado por spray com alta pressão, tendo bom resultado quando aplicado em 2 passes e a quente.

Fosfato por imersão ou spray

São os melhores métodos de limpeza e preparação de superfície em processo industrial.

Esse método é realizado segundo os seguintes estágios:

- 1 - Desengraxe alcalino / lavagem
- 2 - Decapagem ácida / lavagem
- 3 - Refinador
- 4 - Fosfatização / lavagem
- 5 - Passivação / lavagem com água deionizada
- 6 - Secagem

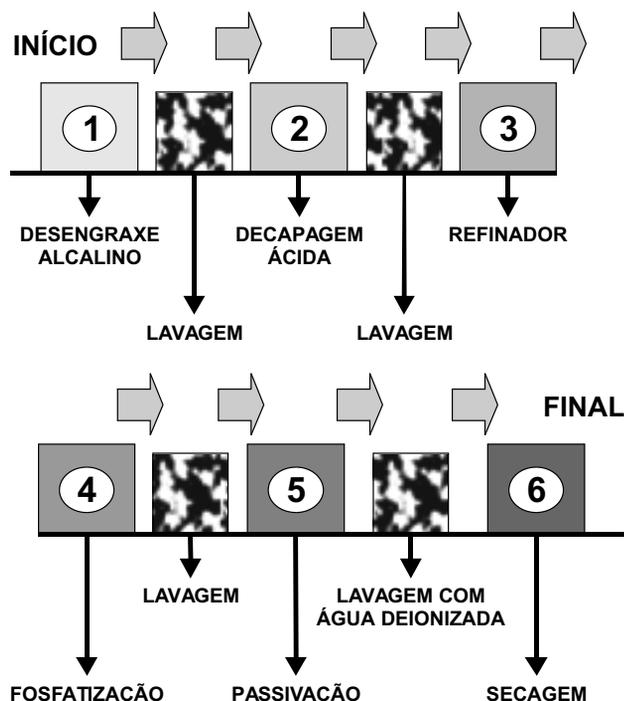


Figura 1.34 - Processo de fosfatização:
Seqüência dos banhos

1.1.9.1 Desengraxe

É a operação efetuada para remover graxas, óleos, solúveis, lubrificantes, óleos de prensagens e óleos protetivos que restam na superfície após as operações mecânicas de usinagem, oleosidades deixadas pelo manuseio, bem como material aderido a estes como poeiras, cavacos, resíduos de abrasivos, etc.

Se o banho de desengraxe é aquoso, também são removidos: sais, óxidos, hidróxidos e outros compostos solúveis em água.

O desengraxe pode ser efetuados por dissolução, saponificação, emulsificação e por ação mecânica.

Antes de iniciar o desengraxe é necessário conhecer o tipo de contaminante a ser removido. As graxas podem ser de origem animal, vegetal ou mineral. A maioria das graxas e óleos é insolúvel em água, o que torna difícil a sua remoção por simples lavagem. Existem graxas saponificáveis, isto é, passíveis de serem removidas com produtos

alcalinos, como por exemplo soda cáustica. As peças neste caso, são imersas em um banho alcalino que dissolve as gorduras e depois são lavadas com água limpa. Já os óleos minerais não são saponificáveis e por isso exigem limpeza com solventes orgânicos apropriados, ou com soluções de tensoativos (detergentes), que são mais eficientes na limpeza, pois além das oleosidades, removem também sais e óxidos solúveis em água. É necessário, enxaguar bem as peças com água limpa para retirar os resíduos do tensoativo.

1.1.9.2 Decapagem ácida

A decapagem, como o próprio nome indica é operação que tem por finalidade a remoção da “capa” de óxidos que pode ter sido formada quando a chapa foi laminada a quente ou a ferrugem surgida durante o transporte e o armazenamento.

Para que a operação seja eficiente é necessário que o desengraxe tenha sido bem feito, pois gorduras e oleosidades podem dificultar a ação dos decapantes.

Os decapantes geralmente são ácidos, como o clorídrico (também conhecido como muriático) e o sulfúrico, que reagem com os óxidos produzindo sais solúveis, fáceis de serem removidos em meio aquoso por lavagem. Os ácidos removem inclusive carepas. O ácido fosfórico também pode remover as carepas, porém demandam muito tempo e requerem aquecimento do banho. O ataque ácido, além de remover os óxidos proporciona uma certa rugosidade à superfície. Para ajudar a ação dos ácidos são adicionados aditivos tensoativos aos banhos, que melhoram a penetração do ácido nas peças e facilitam a lavagem ao final do processo.

Peças que trabalham sob tensão, tração ou torção, não devem ser decapadas com ácidos se não houver possibilidade de colocá-las em um forno para minimizar os efeitos corrosivos do hidrogênio gerado no processo e que penetra no interior das peças podendo provocar corrosão intergranular. O processo de aquecimento ajuda a eliminar o hidrogênio e por isso é chamado de desidrogenação.

O ácido remove os óxidos mas também pode atacar severamente o metal, por isso é necessário adicionar um inibidor de corrosão ao banho, para que o ácido se restrinja somente à capa de óxidos. Estes inibidores podem ser aminas, aldeídos, proteínas ou mercaptanas.

1.1.9.3 Refinador

Esta etapa do processo que antecede a fosfatização, tem por finalidade criar pontos de nucleação na superfície metálica que induzam a formação de cristais pequenos e fortemente aderidos. O tamanho dos cristais é importante para desempenho da fosfatização. A boa eficiência do refinador, que é constituído de sais de titânio, depende de uma boa operação prévia de desengraxe e decapagem.

O refinador por ser um banho levemente alcalino funciona também como uma decapagem alcalina com banho bem controlado, que além de remover os óxidos leves e as oleosidades, condiciona a superfície, pois um pH residual alto, promove a precipitação dos fosfatos, formando cristais pequenos. Se a decapagem ácida for muito longa e a superfície não for bem lavada após este banho, poderão resultar cristais longos, o que também não é interessante.

1.1.9.4 Fosfatização

O objetivo da fosfatização é depositar uma camada de cristais pequenos e insolúveis sobre a superfície.

A fosfatização sozinha não tem muito valor protetivo contra a corrosão nas superfícies metálicas, mas, quando associada a pintura, ela assume uma importância muito grande, pois além de melhorar a aderência da tinta, converte a superfície metálica que é corrosível, em uma superfície não metálica, de fosfatos do metal e por isso mais resistente à corrosão.

Os cristais se formam por reação química, o que lhes confere ótima ligação com o metal e praticamente cobrem toda a superfície, isolando-a dos eletrólitos que venham a permear a camada de tinta.

Segundo o Prof. Vicente Gentil, em seu livro "Corrosão", os processos de fosfatização se classificam quanto a:

Composição do banho:

- fosfatização a quente - acima de 80 °C
- fosfatização tépida - entre 50 e 80 °C
- fosfatização a frio - abaixo de 50 °C

Tempo de permanência no banho:

- fosfatização normal - acima de 30 minutos
- fosfatização acelerada - abaixo de 30 minutos
- fosfatização rápida - abaixo de 5 minutos

Método de aplicação:

• Imersão - A peça cumpre uma seqüência de banhos em tanques, com controle de tempo, temperatura, concentração de produtos químicos e controle de contaminação destes banhos. Nos tanques são colocadas quantidades consideráveis de produtos químicos.

• Pulverização - Processo que atualmente tem mostrado melhores resultados. As peças atravessam cabinas compartimentadas onde os produtos químicos são pulverizados através de bicos injetores. A quantidade de produto químico é menor e por causa do impacto do jato sobre as peças, eles podem atuar com mais eficiência do que estáticos dentro de tanques. A troca do produto é feita muito mais rapidamente e a economia é muito grande. Sem contar com o fato da linha poder ser contínua com velocidade controlada através da monovia onde as peças são penduradas. Durante o processo de fosfatização ocorrem as seguintes reações do ácido fosfórico com o ferro do aço:

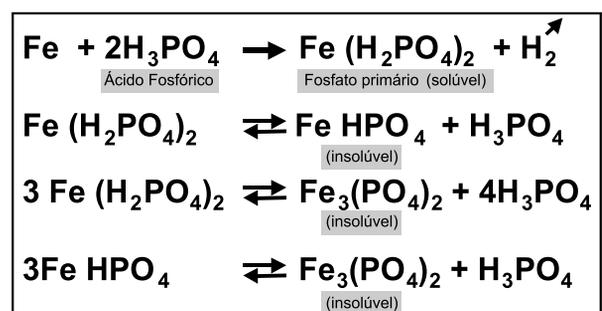


Figura 1.35 - Reações que ocorrem durante a fosfatização

1.1.9.5 Passivação

Trata-se de uma etapa posterior à fosfatização que tem por finalidade selar os poros deixados na camada de fosfato. As soluções apassivantes, constituídas por ácido crômico ou ácido crômico/fosfórico, geralmente a 60 °C, completam as falhas na camada de fosfato, melhorando a proteção anticorrosiva.

Esta etapa final de passivação também é chamada de “selagem com cromo”. Hoje em dia, o cromo hexavalente (Cromo VI) sofre restrições e em seu lugar é usado taninato para selar ou apassivar.

1.1.9.6 Secagem

Após a passivação, é realizada a operação de secagem das peças, que seguem para a pintura. Geralmente as peças passam por fornos ou sopros de ar quente a temperaturas entre 100 e 150 °C, e toda a umidade da superfície que poderia formar bolhas e prejudicar a pintura é eliminada.

1.1.9.7 Tipos de fosfatos

Atualmente são utilizados os seguintes fosfatos:

Tipo de fosfato	Processo	Coloração	Propriedades
Fosfato de ferro	Pulverização	Cinza claro ou Cinza escuro	Melhor aderência
Fosfato de zinco	Imersão ou Pulverização	Azulada	Melhor resistência anticorrosiva
Fosfato de zinco, manganês e níquel	Imersão	Cinza escuro à Marrom escuro	São chamados de fosfatos tricationicos, com excelente resistência anticorrosiva e aderência. São fosfatos de última geração.

Tabela 1.5 - Tipos de fosfatos e propriedades

1.1.9.8 Banhos Intermediários

Entre cada etapa mencionada existem banhos intermediários necessários:

- Após o desengraxe alcalino - remove o desengraxante residual que por ter caráter alcalino reagiria com o banho seguinte que é ácido, exigindo maior consumo de decapante.

- Após a decapagem ácida - remove os resíduos de sais formados e o excesso de decapante que prejudicariam o refinador. Se os ácidos não forem completamente removidos, os cristais nucleados podem ficar grandes, o que é inconveniente.

- Após a fosfatização - removem os resíduos e os excessos de fosfatos e cromatos que prejudicariam a aderência e o comportamento da pintura.

- Após a passivação - a lavagem deve ser com água deionizada para eliminar completamente os sais solúveis.

Capítulo 2

Aplicação de tintas

2.1 Aplicação de tintas

Como as tintas usadas na pintura de estruturas de aço são líquidas, há necessidade de se tomar cuidado com o armazenamento das embalagens para evitar perda de material e a ocorrência de acidentes.

2.1.1 Armazenamento de tintas

Com exceção das tintas à base de água, a maioria das tintas utilizadas na indústria contém solventes orgânicos inflamáveis. Defeitos na embalagem, danificações sofridas durante o transporte, manuseio incorreto na estocagem ou ainda, aquecimento excessivo, podem causar vazamentos de solventes e acúmulo de seus vapores no ambiente. Se houver uma faísca elétrica ou uma chama aberta, poderá ocorrer um acidente.

A utilização de locais improvisados para o armazenamento de embalagens contendo tintas ou diluentes, pode resultar em perdas na qualidade e na quantidade dos materiais.

2.1.1.1 Local de armazenamento

Características construtivas: Almoxarifados, depósito, ou salas de armazenamento situados dentro de prédios devem ser construídos com paredes, pisos e tetos de material não combustível. A sala deve ter pelo menos uma parede externa com porta. Aberturas ou passagens para outras salas devem ser providas de soleira ou rampas à prova de passagem de líquidos, feitas de material não combustível com no mínimo 15 cm de altura. No lugar das soleiras podem ser utilizadas valetas cobertas com grades de ferro com escoamento para local seguro. As portas devem ser do tipo corta-fogo. O ideal é que o local de armazenamento fique em prédio separado, a pelo menos 15 metros de distância dos prédios principais.

Piso: O piso do local deve ser preferencialmente de concreto ou de cerâmica, para que não haja saturação do ambiente por umidade emanada do solo. A umidade provoca o enferrujamento das embalagens metálicas que com o tempo podem apresentar perfurações.

Prateleiras: As prateleiras e estantes devem ser firmes e construídas preferivelmente em aço e devem suportar o peso das latas armazenadas.

Circulação em torno das prateleiras: Deve ser deixado espaço suficiente em torno das prateleiras, para facilitar a colocação e retirada das embalagens. As vias de circulação devem permanecer livres para evitar que a movimentação cause danos às embalagens e que latas caiam no vão formado entre as prateleiras e a parede.

Acesso: O local de armazenamento deve, de preferência, ser situado em andar térreo, de fácil acesso e com as vias mantidas sempre livres e desimpedidas. O local deve se comunicar com o exterior por meio de uma porta de emergência, que possibilite a fuga em caso de incêndio.

Vizinhança com salas aquecidas: O local de armazenamento de tintas e diluentes não deve ter paredes comuns com áreas aquecidas, como salas de fornos ou estufas, a menos que haja perfeito isolamento térmico.

Local apropriado: Tintas e diluentes não devem ser armazenados sob escadas ou nas proximidades de áreas usadas para a saída ou passagem de pessoas, para evitar confinamento em caso de incêndio.

Devem ser evitados, nestes locais, aparelhos ou equipamentos com escovas ou carvões que produzam faíscas ao funcionarem. Também devem ser evitados os que trabalham aquecidos, para não aumentarem a temperatura do ambiente.

Local exclusivo: As tintas e diluentes não devem ser armazenados juntos com outros tipos de materiais, principalmente os sólidos.

As caixas de papelão devem ser retiradas, ficando estocadas somente as latas.

Estopas, caixas de madeira, papéis ou roupas devem ser removidos do local de armazenamento.

Extintores de incêndio: A área deverá ser sinalizada intensivamente com cartazes ou sinais

bem visíveis de: "É PROIBIDO FUMAR" O fogo em tintas e diluentes é classificado como CLASSE B. O extintor mais apropriado é o de **pó químico seco**, que é eficiente tanto em locais fechados quanto em locais abertos. Já os extintores com carga de **CO₂** são eficientes apenas em locais fechados.

É importante que existam extintores também do lado de fora do local, para que no caso de incêndio no estoque, possam ser utilizados os extintores externos por pessoas que venham a ajudar na sua extinção.

Hidrantes: O combate a incêndios em tintas e diluentes por meio de jatos de água não é aconselhável por causa do transbordamento e espalhamento do líquido inflamado. No início de incêndios, é recomendável a utilização de extintores portáteis de pó químico seco, porém se o fogo já está avançado, é necessário ter disponível hidrantes nas imediações, pois a água é indispensável para o resfriamento do local para permitir o acesso do pessoal de combate ao incêndio. A água deve ser aspergida na forma de neblina sobre o material incendiado, evitando-se jatos que poderiam espalhar o fogo. Os sistemas de hidrantes devem possuir reservatórios apropriados e bem dimensionados, bombas de recalque potentes e mangueiras permanentemente revisadas e conservadas.

Treinamento da brigada de incêndio: O pessoal da brigada de incêndio que é treinado para o primeiro combate ao foco de incêndio deve receber noções sobre o que é tinta, diluente e como combater incêndios nestes materiais.

Sistema elétrico: As tomadas e interruptores devem ser blindados e à prova de explosão. Os fios devem ser instalados dentro de conduítes apropriados e corretamente dimensionados.

Iluminação: O local deve ser provido de boa iluminação, se possível natural, através de janelas com vidros aramados. No caso de iluminação artificial, as luminárias devem ser blindadas, pois o "estouro" de uma lâmpada pode incendiar os vapores de solventes se estes estiverem acumulados no ambiente.

Ventilação: O local deve ser coberto, porém bem ventilado, sendo necessário que as paredes sejam construídas em parte ou totalmente com elementos vazados, ou com telas, ou com grades. É preferível ventilação natural. No caso de ventilação forçada, ou mecânica, os motores utilizados nos exaustores devem ser blindados e à prova de explosão.

Pára-raios: O local de armazenamento deve estar protegido por pára-raios do tipo Franklin ou gaiola de Faraday. As ligações e o isolamento do cabo de aterramento devem ser verificados e estar em ordem.

Temperatura do local de armazenamento: A temperatura ambiente não deverá exceder a 40 °C.

2.1.1.2 Cuidados no Armazenamento

Recipientes fechados: As embalagens de tintas e diluentes devem ficar fechadas enquanto não forem utilizadas. Ao abrir uma lata de tinta, deve-se tomar cuidado para não danificar a tampa e não derramar tinta nas suas bordas, que poderá impedir uma perfeita vedação ao fechar a lata para uso posterior.

É conveniente que se coloque o conteúdo de embalagens de tintas consumidas parcialmente em outras embalagens menores, de maneira que elas fiquem armazenadas cheias. A presença de ar e umidade no interior das embalagens prejudica especialmente os primers e esmaltes sintéticos e alguns poliuretanos por causa da formação de nata irreversível na superfície da tinta. Não adianta bater vigorosamente a tinta, pois não há possibilidade dela ser redissolvida e pedaços poderão entupir pistolas e prejudicar a pintura.

Rotatividade na prateleira: O armazenamento deve ser feito de tal forma que possibilite a retirada em primeiro lugar das latas de lotes mais antigos. Este procedimento evita que tintas recebidas mais recentemente sejam colocadas na frente e as mais antigas permaneçam no fundo da prateleira, ultrapassando o prazo de validade do lote.

Inversão de embalagens: É conveniente que as latas de 1 galão ou menores do que 1 galão, sejam colocadas inicialmente com a tampa para baixo nas prateleiras e a cada três meses sejam invertidas. A inversão traz duas vantagens: melhor vedação da tampa pelo lado interno e diminuição de sedimentos duros e compactos no fundo da embalagem. Com isto prolonga-se a vida útil de prateleira (shelf life) das tintas.

Empilhamento: Empilhamento de embalagens em número superior ao recomendado poderá danificar as embalagens de baixo. Com o amassamento das embalagens poderão ocorrer vazamentos, principalmente se as tintas possuem massa específica alta, como as com pigmentos de zinco ou de zarcão. O empilhamento máximo das embalagens no local de armazenamento deve ser o seguinte:

Tipo de embalagem	Capacidade	Empilhamento máximo
Galão (lata nº 1)	3,6 ℓ	10 (dez)
Balde (5 galões)	18 ℓ	5 (cinco)
Tambor	200 ℓ	3 (três)

Tabela 2.1 - Empilhamento máximo de embalagens

Tintas Bicomponentes: O armazenamento de tintas bicomponentes deve ser feito aos pares, ou seja, juntando lado a lado os componentes A e B de uma determinada tinta. Esta providência simples evita desperdícios de material e prejuízos. As embalagens devem ser retiradas das caixas de papelão, logo após a chegada dos materiais ao almoxarifado e unidas aos pares com uma fita adesiva ou um arame, o que evita erros de mistura de componentes. Os erros mais comuns são: utilização da base de uma tinta com "catalisador" de outra, ou esquecimento de que a tinta é bicomponente e aplicação somente da base. De um jeito ou de outro, a tinta não irá curar satisfatoriamente e terá que ser totalmente removida da superfície.

Rótulos das tintas: As embalagens das tintas normalmente são litografadas, isto é, a impressão é feita na própria lata, com dados que são comuns a todos os produtos de uma linha e com as precauções de manuseio das tintas. O que é diferenciado para cada tinta é o rótulo ou também conhecido

como etiqueta ou "Peel off". Estes trazem as informações específicas de cada produto.

O rótulo contém muitas informações úteis para o pintor, como o nome do produto, o código do produto, o número do lote, a data de fabricação e o prazo de validade, a proporção de mistura e o diluente a ser utilizado.

Toda vez que o pintor for retirar a tinta da lata deve entornar a embalagem no lado contrário ao do rótulo, para evitar que se houver escorrimento, a tinta suje ou impeça a leitura dos rótulos.

2.1.2 Homogeneização das tintas

A homogeneização das tintas antes do seu uso é fundamental, pois as tintas são constituídas de produtos em suspensão e que pela força da gravidade se sedimentam formando duas fases distintas. Uma parte líquida superior com o veículo (solvente + resina + aditivos líquidos) e a outra inferior, a sedimentação, (pigmento sedimentado + cargas e aditivos sólidos). Os pigmentos das tintas são partículas muito pequenas, da ordem de 0,1 a 1,0 micrometros, mas possuem massa e acabam se depositando no fundo da lata. Por isso, é necessário mexer bem a tinta, com cuidado para que todo o pigmento seja redisperso. A homogeneização é fundamental para que a tinta fique em condições de uso.

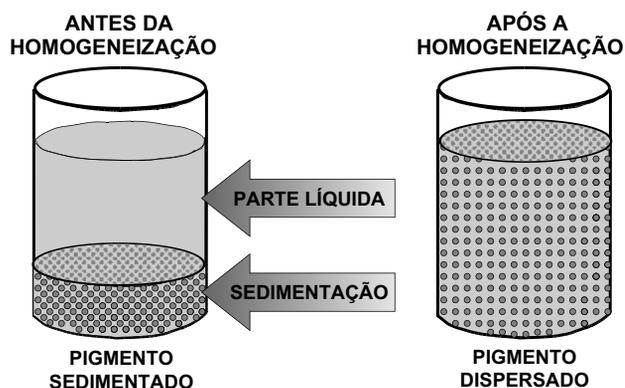


Figura 2.1 - Homogeneização de uma tinta

2.1.2.1 Tintas monocomponentes

Monocomponente significa tinta fornecida em uma única embalagem e está pronta para o uso. No caso de aplicação à pistola, pode haver necessidade de diluição.

Devem-se dedicar alguns minutos para realizar a homogeneização por que se a tinta não estiver perfeitamente uniforme, ela não terá o desempenho que se espera dela.

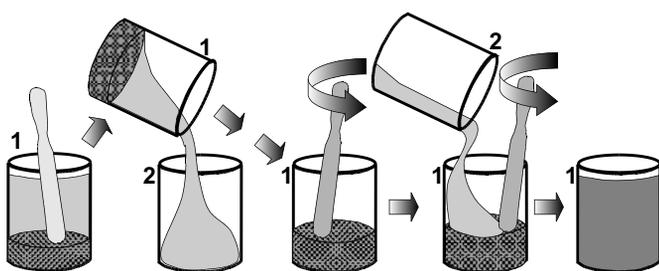


Figura 2.2 - Procedimentos de homogeneização de tintas monocomponentes

Quando a tinta está no estoque por muito tempo e os pigmentos estão sedimentados no fundo da lata e há uma certa dificuldade de redispersá-los, o procedimento é o seguinte:

- Abrir a lata (1) e verificar com uma espátula se há presença de sedimentação
- Caso positivo, transferir a parte líquida para uma segunda lata limpa (2)
- Mexer a sedimentação com espátula na lata (1) e retornar lentamente a parte líquida que está separada na outra lata (2)
- Continuar mexendo a sedimentação na lata (1) até que toda a parte líquida que estava na outra lata (2) seja reincorporada e bem homogeneizada.

2.1.2.2 Tintas bicomponentes

Bicomponente significa tinta fornecida em duas embalagens, cujos conteúdos devem ser misturados momentos antes do uso, para que as reações entre os componentes se processem.

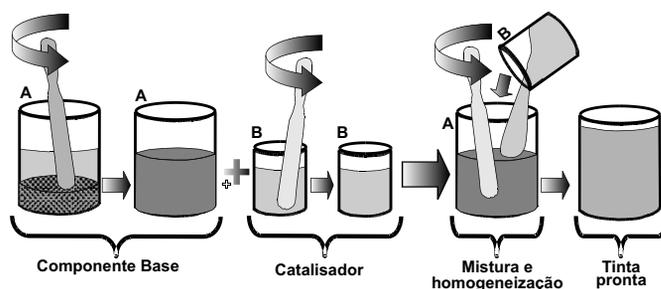


Figura 2.3 - Procedimento de homogeneização de tintas bicomponentes

A seqüência a ser seguida é a seguinte;

- Homogeneizar o componente A;
- Homogeneizar o componente B;
- Adicionar o componente B ao Componente A respeitando a relação de mistura;
- Homogeneizar a mistura com agitação vigorosa. A tinta estará pronta para o uso.

A homogeneização da mistura é de fundamental importância para a obtenção de uma tinta uniforme. Durante a adição do componente B, o pintor deve verificar se a consistência e a cor da mistura resultante está homogênea em toda tinta.

A homogeneização deve ser feita com agitadores mecânicos, como por exemplo, furadeiras elétricas adaptadas, com motor blindado à prova de explosão. Durante a agitação a tampa deve ficar fechada. Para isto pode-se confeccionar uma tampa de madeira com uma abertura para a haste de agitação entrar.



Figura 2.4 - Tampa de madeira para fechar a lata durante a homogeneização

2.1.2.2.1 Proporção de mistura

Cada componente contém resinas reativas em proporções que devem ser respeitadas pelo pintor na hora da mistura, pois a falta ou excesso de um dos reagentes pode produzir uma tinta com

propriedades diferentes da que foi idealizada. As proporções mais comuns são 1:1 (3,6ℓ: 3,6ℓ), 2:1, 4:1 (2,7ℓ: 0,9ℓ) em volume.

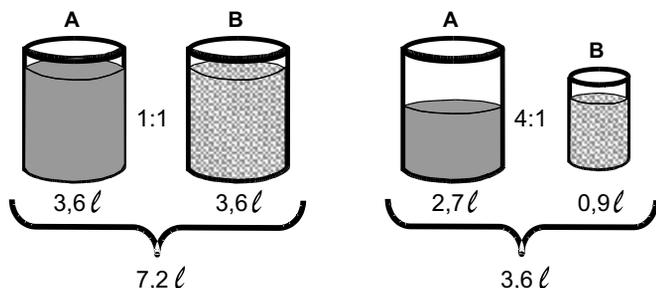


Figura 2.5 - Proporção de mistura mais comuns (1:1 e 4:1)

A proporção em peso também é fornecida pelos fabricantes e facilita a preparação das tintas, por que pode ser usada uma balança. Uma lata vazia é pesada (tarada). Coloca-se o componente A e anota-se a massa. Calcula-se a quantidade de componente B que deve ser adicionada em função da proporção de mistura em peso e com uma colher coloca-se o componente B sobre o A, até atingir o peso calculado. A mistura em peso é mais prática e mais precisa, no entanto exige uma balança eletrônica.

Quando o pintor vai utilizar a tinta toda, não deve se preocupar com a proporção de mistura, pois o fabricante já coloca a quantidade exata nas duas embalagens e assim a mistura já estará na proporção correta. Porém, quando vai usar apenas pequenas quantidades de tinta, é necessário seguir a proporção de mistura indicada na ficha técnica ou no rótulo das embalagens.

A mistura fora da proporção ou a aplicação de somente um dos componentes acarreta prejuízos, pois a película pode ficar mole e grudenta ou endurecer demais e ficar toda rachada e quebradiça. Uma vez que foi aplicada errada não há como recuperar uma tinta fora de proporção. Só resta remover toda a tinta e aplicar novamente, só que desta vez na proporção correta.

2.1.2.2.2 Vida útil da mistura

Vida útil da mistura ou "pot life" é o tempo que o pintor tem para usar a tinta bicomponente depois que as duas partes, A e B foram misturadas.

Feita a mistura, as resinas dos dois componentes começam a reagir e após este tempo a tinta gelatiniza ou endurece e não é mais possível a sua utilização.

As tintas epoxídicas e as poliuretânicas são exemplos de tintas bicomponentes, nas quais os componentes A e B reagem entre si. Por isso, é necessário observar o tempo de vida útil que as fichas técnicas destas tintas indicam, para não ter prejuízo.

O pintor deve verificar a área a ser pintada, para não preparar quantidade de tinta a mais do que é capaz de aplicar dentro do período de vida útil da mistura. Deve verificar também, se a área já está limpa e pronta para receber a tinta e se todo o equipamento a ser utilizado está em ordem.

A temperatura influi no tempo de vida útil da mistura. Assim, quando a temperatura do ambiente é mais alta, o tempo de vida útil diminui e quando a temperatura é mais baixa, o tempo que o pintor tem para usá-la aumenta. Se o pintor colocar a mistura na geladeira, o tempo será aumentado, mas isto não é aconselhado, pois a tinta muito fria no momento da aplicação provocará a condensação da umidade e prejudicará o seu desempenho.

A quantidade de tinta misturada também influi na vida útil. Quantidade maior têm vida útil menor. Por exemplo, a vida útil da mistura do conteúdo de dois baldes de 18ℓ é menor do que a de duas latas de 1 galão (3,6ℓ).

A adição do diluente, se necessária, deve ser feita após a mistura dos dois componentes. No caso de tintas com proporção 1:1, é necessário providenciar uma terceira lata com capacidade maior.

2.1.2.2.3 Tempo de indução ou espera

Após a mistura, e diluição, o pintor deve fechar a lata onde a mistura foi feita e aguardar de 10 a 15 minutos. Este tempo chama-se indução ou espera, e serve para que as resinas comecem a reagir e quando forem aplicadas estejam mais homogêneas e prontas para aderirem à superfície.

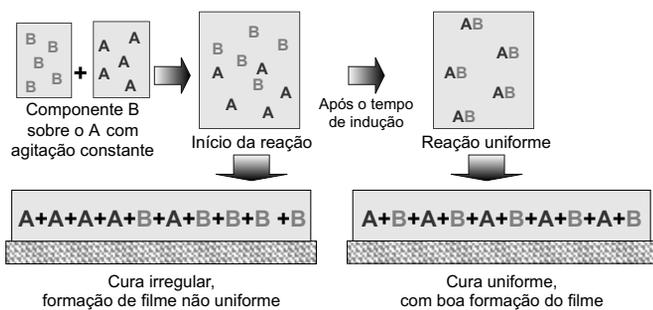


Figura 2.6 - Tempo de indução

2.1.2.2.4 Intervalo entre as demãos

Uma das perguntas mais freqüentes que o pintor faz: Qual é o intervalo entre as demãos? ou Qual é o tempo para a aplicação da demão subsequente? ou ainda, Qual é o tempo para repintura desta tinta?

Esta informação é importante para estes profissionais, por que depois de aplicada a primeira demão, o solvente da tinta começa a evaporar e há um tempo certo para aplicar a próxima demão. As fichas técnicas informam qual é esse tempo e também a temperatura, já que o tempo de secagem depende diretamente da temperatura do ambiente. Para o projetista a informação permite calcular o tempo para liberar a obra. O pintor não deve aplicar outra demão fora do prazo, pois poderá haver problema.

Por exemplo, na ficha técnica há a seguinte informação sobre o tempo entre as demãos:

A 25 °C mínimo 4 h e máximo 48 h

Antes do intervalo: Nunca deve ser aplicada antes do intervalo mínimo especificado, pois o solvente da demão anterior não evaporou totalmente e aplicando outra demão, a tinta fica como se estivesse com espessura exagerada. Poderá haver escorrimentos em superfícies verticais, demora para secar, enrugamento ou até fissuras ou trincas durante a secagem da tinta.

Durante o intervalo: Haverá tempo suficiente para a evaporação do solvente da demão anterior e a secagem será adequada. A aderência será máxi-

ma, pois ocorre a interpenetração das camadas (uma demão se funde com a outra).



Figura 2.7 - Aplicação no prazo recomendado: aderência perfeita

Após o intervalo: Nem sempre é possível evitar a aplicação fora do prazo, mas se isto ocorrer e nenhuma providencia for tomada, a fusão das camadas pode não ocorrer. Neste caso, a aderência é prejudicada e poderá haver destacamentos entre as demãos.

Após o intervalo, mas com lixamento: O lixamento superficial da camada é suficiente para produzir sulcos cuja rugosidade, possibilita maior superfície de contato entre as demãos. O pintor chama este lixamento de "quebra de brilho". Há necessidade de remover o pó do lixamento com um pano seco ou embebido em diluente para que a aderência seja satisfatória.

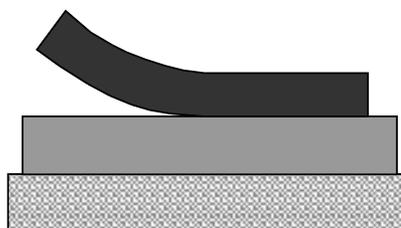


Figura 2.8 - Aderência prejudicada por que nenhuma providência foi tomada

Somente as tintas que secam por evaporação dos solventes, as lacas, podem ser aplicadas sem o lixamento, pois o solvente da nova demão dissolve superficialmente a demão anterior ou a mais antiga. Mesmo assim, há necessidade de limpar a superfície removendo poeiras e oleosidades.

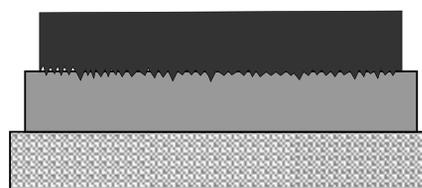


Figura 2.9 - Lixamento entre demãos: aderência melhorada

2.1.3 Diluição

As tintas em geral são fornecidas mais grossas (alta viscosidade) e devem ser diluídas ou afinadas no momento do uso. A viscosidade mais alta serve para manter os pigmentos em suspensão. Quando a tinta é muito rala (diluída), os pigmentos se sedimentam rapidamente formando um bolo duro e compacto no fundo da lata. Para a dispersão desta sedimentação é necessário um agitador mecânico, nem sempre disponível na obra ou na oficina. A ficha técnica indica a proporção de diluição em volume e informa qual é o diluente que deve ser usado para afinar a tinta. A proporção de diluição depende das condições e do tipo de aplicação. Muitas tintas podem ser aplicadas a pincel ou a rolo sem necessidade de diluição. Já a pistola não consegue pulverizar a tinta se ela estiver muito grossa. A diluição afina a tinta permitindo que o ar comprimido transforme o líquido em micro gotas (spray) que são jogadas contra a superfície.

O diluente é encontrado com outros nomes, como redutor, tiner (thinner), dissolvente, etc. Os nomes são diferentes, mas a finalidade é a mesma, pois o diluente serve para diluir a tinta, ou seja, afinar; o redutor serve para reduzir a viscosidade da tinta, ou seja, afinar a tinta e o thinner, como o nome indica em inglês, quer dizer afinador, ou seja, serve para afinar.

O uso de diluente diferente do recomendado na ficha técnica pode causar defeitos na tinta e na pintura. É conveniente que o diluente seja o indicado e fornecido pelo mesmo fabricante da tinta, para evitar incompatibilidades com os solventes da tinta ou com a sua resina. Podem ocorrer os seguintes problemas":

Se o diluente contiver solventes muito leves:

- Fervura (aparecem bolhas como se a tinta estivesse fervendo. Algumas não chegam a se romper e outras se transformam em crateras ou furos);

- Casca de laranja (não dá tempo da tinta alastrar e se uniformizar, ficando a superfície como se fosse a casca de uma laranja);

- Empoamento (over spray) ou pulverização seca (a tinta perde parte do solvente no meio do caminho entre a pistola e o objeto, por ser muito volátil e chega quase seca como se fosse um pó, tirando o brilho da superfície).

Se o diluente contiver solventes pesados:

- Demora a secar;
- Escorrimento em superfícies verticais.

Se o diluente contiver solventes com baixo poder de solvência:

- Coagulação (há separação entre o solvente e o restante da tinta);
- Falta de alastramento (há dificuldade de espalhamento e nivelamento da tinta).

Se o diluente contiver solventes com alto poder de solvência:

- Sedimentação excessiva (os pigmentos rapidamente descem para o fundo da embalagem e há necessidade constante de manter a tinta sob agitação).

Para a diluição na proporção correta, o pintor deve usar sempre um copo graduado, que pode ser de plástico resistente a solventes (por exemplo, de polipropileno).

Na tabela abaixo podem ser encontradas as quantidades de diluente que devem ser adicionadas às quantidades de tinta nas proporções de diluição de 10, 15, 20 e 25 % em volume.

Quantidade					
Tinta		diluente (ml)			
galões	(ℓ)	10%	15%	20%	25%
1/32	0,112	11	17	22	28
1/16	0,225	22	34	45	56
1/8	0,375	38	56	75	94
1/4	0,900	90	135	180	225
1	3,600	360	540	720	900
5	18,000	1.800	2.700	3.600	4.500

Tabela 2.2 - Quantidade de diluente em função da proporção de diluição

2.1.4 Condições de aplicação das tintas

As condições que podem influir no desempenho das tintas e, portanto devem ser respeitadas pelo pintor são:

2.1.4.1 Temperatura da tinta

A temperatura da tinta, medida na lata, se for monocomponente ou na mistura se for bicomponente, **deverá estar entre 16 e 30 °C**. Lembrar que na mistura de A com B das tintas bicomponentes, a temperatura aumenta.

A temperatura da tinta pode ser medida com um termômetro comum.

2.1.4.2 Temperatura do ambiente

A temperatura do ar no ambiente onde a pintura será executada **deverá estar entre 16 °C e 30 °C**. Em temperaturas abaixo de 16 °C, até no mínimo 10 °C e acima de 30 °C, até no máximo 40 °C, poderão ser necessárias técnicas especiais de diluição e de aplicação.

A temperatura do ambiente poderá ser medida com um termômetro comum.

2.1.4.3 Temperatura da superfície

A temperatura da superfície a ser pintada **deverá estar entre 16 °C e 30 °C**. Em temperaturas abaixo de 16 °C até no mínimo 10 °C e acima de 30, até no máximo 55 °C, poderão ser necessárias técnicas especiais de diluição e aplicação.

A temperatura da superfície pode ser medida com um termômetro de contato.

2.1.4.4 Umidade relativa do ar (UR)

A água quando se evapora fica no ar na forma de vapor.

Esta água, mesmo não sendo notada, está no ar atmosférico e é chamada de umidade relativa do ar. Quando colocamos água gelada em um copo, em poucos minutos suas paredes começam a "suar". Aquelas gotas que escorrem é a umidade do ar que estava no ambiente e se condensou. Quanto

mais umidade houver no ar e quanto mais baixa for a temperatura da superfície, maior será a condensação. Quando um líquido se evapora, ele provoca um abaixamento da temperatura da superfície. Exemplo disto é a moringa de barro, que por ser porosa fica sempre úmida. A água se evapora do lado de fora, abaixa a temperatura da superfície e por isso a água do interior fica "fresquinha". Da mesma maneira, quando o solvente da tinta se evapora, abaixa a temperatura da superfície e é possível que a umidade do ar se condense prejudicando o desempenho da tinta. Por isso, os limites normais para a umidade do ar (UR) é de 30% a 60 %, para evitar a condensação. Deve-se evitar a preparação de superfície e a aplicação de tintas quando a umidade relativa do ar estiver maior do que 85%.

A umidade do ar pode ser medida com um higrômetro ou com um psicrômetro (termômetros de bulbos seco e úmido)

2.1.4.5 Ponto de orvalho

É a temperatura na qual a umidade do ar que está na forma de vapor de água, se condensa, passando para o estado líquido.

De manhã são notadas gotas, chamadas de orvalho, nas plantas. O que aconteceu na madrugada foi a condensação do vapor de água da atmosfera (umidade relativa do ar - UR) na superfície das folhas. Durante a madrugada, a umidade do ar costuma ser mais alta do que em outros períodos do dia e como as folhas perdem calor mais rapidamente do que o ar e ficam com temperatura abaixo da do ambiente, ocorre a condensação.

Podemos determinar o ponto de orvalho usando a tabela a seguir:

Exemplo: para UR de 70 % e temperatura ambiente 25 °C, o ponto de orvalho é 18,6 °C.

Ponto de orvalho + 3 °C

U R %	Temperatura ambiente °C						
	10	15	20	25	30	35	40
90	8,2	13,3	18,3	23,2	28,0	33,0	38,2
85	7,3	12,5	17,4	22,1	27,0	32,0	37,1
80	6,5	11,6	16,5	21,0	25,9	31,0	36,2
75	5,6	10,4	15,4	19,9	24,7	29,6	35,0
70	4,5	9,1	14,2	18,6	23,3	28,1	33,5
65	3,3	8,0	13,0	17,4	22,0	26,8	32,0
60	2,3	6,7	11,9	16,2	20,6	25,3	30,5
55	1,0	5,6	10,4	14,8	19,1	23,9	28,9
50	-0,3	4,1	8,6	13,3	17,5	22,2	27,1
45	-1,5	2,6	7,0	11,7	16,0	20,2	25,2
40	-3,1	0,9	5,4	9,5	14,0	18,2	23,0
35	-4,7	-0,8	3,4	7,4	12,0	16,1	20,6
30	-6,9	-2,9	1,3	5,2	9,2	13,7	18,0

Tabela 2.3 - Determinação do ponto de orvalho

As técnicas de boa pintura recomendam que as tintas não devem ser aplicadas se a temperatura da superfície não estiver no mínimo 3 °C acima do ponto de orvalho. No exemplo acima, se a temperatura da superfície não estiver acima de 21,6 °C (18,6 °C + 3 °C), a pintura não deverá ser executada. Estes 3,0 °C são considerados margem de segurança, pois os solventes ao se evaporarem resfriam a superfície da tinta e poderá haver condensação da umidade do ar ambiente. Se for possível aquecer a superfície a ser pintada, dentro dos limites normais de aplicação, esta regra (ponto de orvalho + 3), prevalece sobre outras, inclusive sobre a restrição de no máximo 85 % para a umidade relativa do ar.

2.1.5 Métodos de aplicação

2.1.5.1 Pintura a pincel

Os melhores pincéis para a pintura industrial com tintas anticorrosivas são feitos geralmente com pêlos de porco ou de orelha de boi. Os de pêlos sintéticos como os de polipropileno e nylon são indicados para tintas à base de água. A escolha do tipo de pincel depende do trabalho a ser executado.



Figura 2.10 - Trincha

Fonte: Pincéis Tigre S.A.

Tipo de pincel	Tipo de trabalho	Observações
Trincha de 75 a 100 mm (3 a 4 polegadas)	superfícies grandes e planas	carrega mais tinta e rende mais
Trincha de 25 a 50 mm (1 a 2 polegadas)	superfícies pequenas e planas	evita desperdício de tinta
Pincel redondo ou trincha de 25 a 38 mm (1 a 1 ½ polegadas)	parafusos, porcas, cordões de solda, frestas e arestas	para bater a tinta e fazer penetrar nas frestas e saliências

Trincha é o pincel de formato chato.

Tabela 2.4 - Escolha do pincel em função do tipo de trabalho

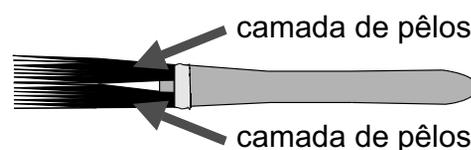


Figura 2.11 - Trincha dupla

2.1.5.1.1 Técnicas de aplicação a pincel

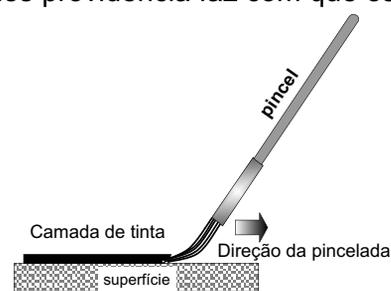
Mergulhar cerca de 2/3 do comprimento dos pêlos na tinta e levar o pincel à superfície, virado para baixo, meio inclinado.

As pinceladas iniciais devem ser curtas, procurando espalhar uma quantidade uniforme de tinta, esfregando os pêlos na superfície para cobrir todas as irregularidades. O nivelamento e o alisamento das camadas se faz com longas pinceladas cruzadas sobre as iniciais, sem apertar muito para evitar marcas profundas.

As pinceladas devem ser dadas com uma pequena inclinação no pincel, para facilitar o deslizamento. A inclinação deve ser ao contrário na volta.

Ao terminar o trabalho diário, o pintor deve lavar o pincel com solvente e em seguida com água e sabão. Esta simples providência faz com que os pincéis durem mais.

Figura 2.12 Técnica de aplicação a pincel



O grande uso dos pincéis na pintura de estruturas metálicas é para reforçar cordões de solda, arestas vivas, quinas, cantos e frestas. No entanto, o reforço nestas áreas deve ser feito com a tinta diluída. A diluição é necessária para possibilitar a penetração da tinta e evitar camadas muito espessas, que acabam sofrendo retração e destacamento. É importante fazer o reforço nestas áreas que são consideradas críticas e isto deve ser feito antes de cada demão normal.

2.1.5.2 Pintura a rolo

Os rolos podem ser fabricados com pele de carneiro ou lã sintética (acrílica) para tintas a base de água ou de solventes e de espuma de poliuretano somente para tintas a base de água (incham e se desmancham quando usados com tintas à base de solventes orgânicos).

Os rolos são fornecidos com comprimento de pêlos de 6 mm até 23 mm. Os de pêlos longos carregam mais tinta e são adequados para superfícies irregulares, porém deixam marcas em relevo como casca de laranja.

Os de pêlos curtos evitam formação de espuma e dão acabamento mais liso e uniforme, porém a espessura da camada de tinta fica mais baixa. Se não for possível comprar rolos com pêlos mais curtos, pode-se queimar "sapecando-os" em uma chama. O miolo dos rolos pode ser um tubo de resina fenólica ou de polipropileno, ambos resistentes aos solventes. As larguras dos rolos variam de 75 mm até 230 mm. Para pintura cantoneiras e perfís estreitos, são usados os de 100 mm.

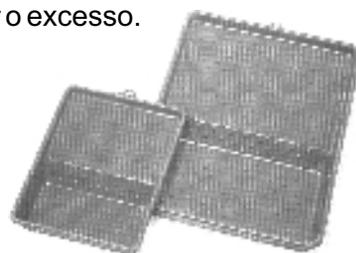


Fonte: Pincéis Tigre S.A.

Figura 2.13 - Rolos de pele de carneiro e de lã sintética (acrílica)

2.1.5.2.1 Técnicas de aplicação a rolo

Não se mergulha o rolo todo na lata de tinta. Usa-se uma bandeja rasa com uma rampa onde ele é rolado para tirar o excesso.



Fonte: Pincéis Tigre S.A.

Figura 2.14 - Bandejas plásticas para pintura a rolo

Pode-se usar também uma caçamba para quantidades maiores de tintas ou uma tela de arame com cabo, chamada de **difusor**, que é colocado dentro do balde para tirar o excesso de tinta do rolo.

O pintor deve aprender a carregar o rolo com a quantidade correta de tinta para evitar escorrimentos e desperdícios. A pressão do rolo na superfície deve ser controlada para deixar espessura uniforme.

Em superfícies muito rugosas o rolo deve ser passado em várias direções indo e voltando para fazer a tinta penetrar nas irregularidades.

No início, o rolo deixa muita tinta e no final do movimento está quase sem tinta. Por isso é importante que o repasse seja feito em sentido contrário ao primeiro movimento, para uniformizar a espessura da tinta.

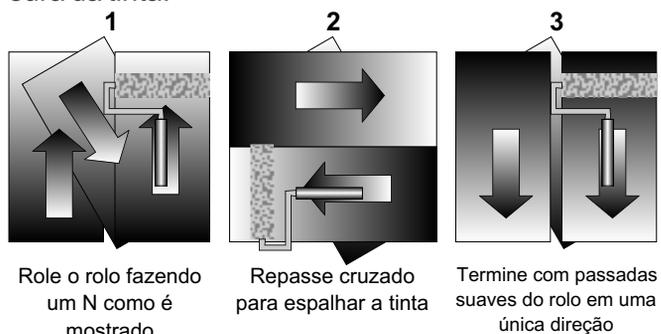


Figura 2.15 - Técnicas de aplicação de tinta a rolo

Ao terminar o trabalho diário, o pintor deve lavar o rolo com solvente e em seguida com água e sabão para que ele possa durar mais. No caso de tintas a base de água, é só lavar com água e sabão.

2.1.5.3 Pintura por pistola

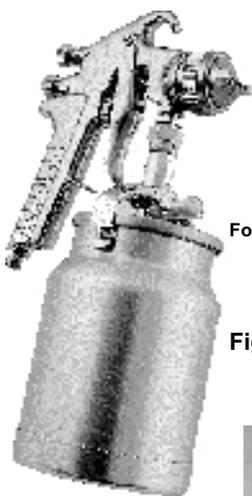
2.1.5.3.1 Pistola convencional

É o método de aplicação mais tradicional utilizado na indústria. Pode ser empregado com caneca de sucção ou tanque de pressão.

Para se obter melhor desempenho com a pistola convencional é necessário que o operador seja treinado e conscientizado para regular a pressão, e a abertura do leque, de acordo com a peça a ser pintada. Dependendo do tipo de peça, pode ocorrer perda de até 60% de tinta.

Tipos de pistola convencional	
Alimentação	Observação
Sucção	Caneca: A tinta é puxada por sucção para a pistola
Pressão	Tanque: A tinta é empurrada para a pistola devido à pressão no tanque

Tabela 2.4 - Tipos de pistola convencional



Fonte: De Vilbiss Equipamentos para Pintura Ltda.

Figura 2.16 - Caneca (sucção)

Fonte: De Vilbiss Equipamentos para Pintura Ltda.



Figura 2.17 - Tanque com pressão

Caneca:

Este tipo de pintura é mais usado em oficinas de repintura de automóveis ou em indústrias em que a pintura é uma operação de pequena monta ou para retoques. É sem dúvida o acabamento mais fino que se pode obter nas pinturas a pistola.

Tanque com pressão:

É o mais usado em indústrias onde o acabamento é importante, mas a produtividade é necessária. O tanque permite que volume maior de tinta seja preparado de cada vez e com isso evita-se paradas mais frequentes para abastecimento da caneca. A caneca quando cheia, pesa mais de um quilo, fazendo com que o pintor fique mais cansado ao final de cada jornada de trabalho. As mangueiras pesam menos e permitem que a pistola tenha maior mobilidade durante a operação de pintura.

Os tanques têm capacidade de 2 a 15 galões, têm agitador com motor pneumático para homogeneizar a tinta, evitando a sedimentação dos pigmentos mais pesados. O motor pneumático evita o risco de incêndio.

A pressão máxima no tanque varia de acordo com a sua capacidade. Para tanque de 2 galões, a máxima é de 50 lb/pol² e para os de 5, 10 e 15 galões, a pressão máxima é de 110 lb/pol².

A linha de ar comprimido para pistola:

O ar comprimido deve chegar limpo, seco à pistola, em volume e pressão suficientes. Para isto são necessários: um compressor, tubulações com diâmetro suficiente, reguladores de pressão com manômetro em bom estado de conservação, filtros separadores de água e óleo e mangueiras com comprimento e diâmetro adequados.

Compressor:

O compressor e seu reservatório são o coração da instalação. Se eles não tiverem capacidade suficiente, não conseguirão manter a pressão durante a pulverização. A capacidade do compressor é medida em PCM - Pés Cúbicos por Minuto. **1 HP = ~ 4 PCM**. Se por exemplo o consumo de ar

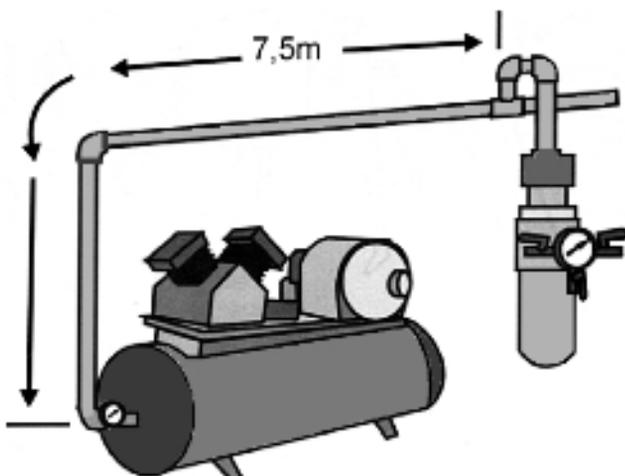
na pistola for de cerca de 15 PCM, o compressor deverá ter no mínimo 4 HP.

O local de sua instalação deve ser: Limpo - evita que a poeira venha a entupir o filtro de entrada do ar; Seco - evita o acúmulo de água no reservatório, causado pela umidade do ar; Ventilado - melhora o resfriamento do cabeçote.

O compressor deve estar nivelado e em local de fácil acesso para trabalhar melhor e facilitar a sua manutenção. As polias com suas pás devem estar voltadas para a parede, a uma distância mínima de 40 cm desta para permitir a circulação do ar necessária ao resfriamento. O óleo de lubrificação deve ser verificado diariamente e a água acumulada no reservatório drenada sempre.

Tubulação:

A tubulação de ar deve ser a mais direta possível para evitar perda de pressão e instalada com inclinação no sentido do compressor, para que a água e o óleo retornem facilmente ao reservatório. A tubulação deve ser em aço galvanizado, com bitolas entre $\frac{3}{4}$ e $\frac{1}{2}$ polegada, dependendo do volume de ar necessário. As saídas de ar devem ser por cima do tubo principal da linha a uma distância mínima de 7,5 metros do compressor para que o ar não seja contaminado com água, óleo e detritos de ferrugem.

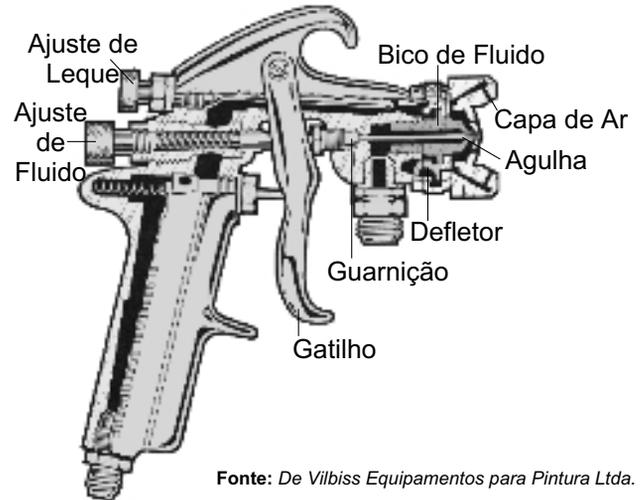


Fonte: De Vilbiss Equipamentos para Pintura Ltda.

Figura 2.18 - Compressor, tubulação, tomado do ar e filtro regulador

Pistola:

As partes mais importantes das pistolas convencionais são:



Fonte: De Vilbiss Equipamentos para Pintura Ltda.

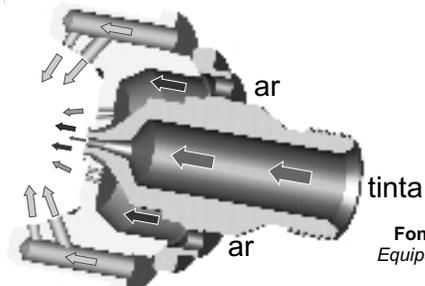
Figura 2.19 - Partes importantes de uma pistola convencional

Funcionamento da pistola:

Na pistola de pintura convencional, ou seja, na pistola comum a ar comprimido, a tinta é soprada por jatos de ar formando um "spray". A tinta, reduzida a gotas muito pequenas ao sair do bico da pistola, é levada pelo mesmo ar comprimido que a pulverizou, até a superfície.

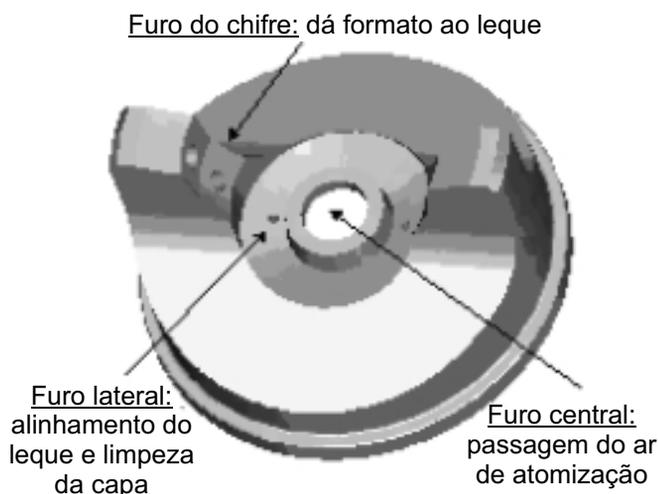
Capa de ar:

Se a pistola for acionada a um palmo de distância da superfície, a tinta pulverizada deixa uma mancha oval, chamada de configuração do leque. O ar comprimido que sai dos furos dos chifres da capa achata o leque que fica oval. Sem os chifres, o leque seria redondo. A forma oval é conveniente, pois além de distribuir melhor a tinta pela superfície, torna a aplicação mais cômoda e produtiva (o leque fica mais largo).



Fonte: De Vilbiss Equipamentos para Pintura Ltda.

Figura 2.20 - Vista em corte dos caminhos do ar e da tinta



Fonte: De Vilbiss Equipamentos para Pintura Ltda.

Figura 2.21 - Funções dos furos da capa de ar

Existem capas para pistolas com canecas e outras para tanques de pressão. Estas últimas possuem mais furos e são indicadas para tintas mais viscosas (grossas) ou mais pesadas, que necessitam de maior quantidade de ar para serem pulverizadas. As capas de ar, determinam a largura do leque.

Os furos da capa achatam o leque dando-lhes um formato oval que é conveniente, por que permite obter espessuras mais uniformes. A superposição de 50% em cada passe distribui melhor a tinta na superfície mantendo a espessura e a qualidade da aplicação.

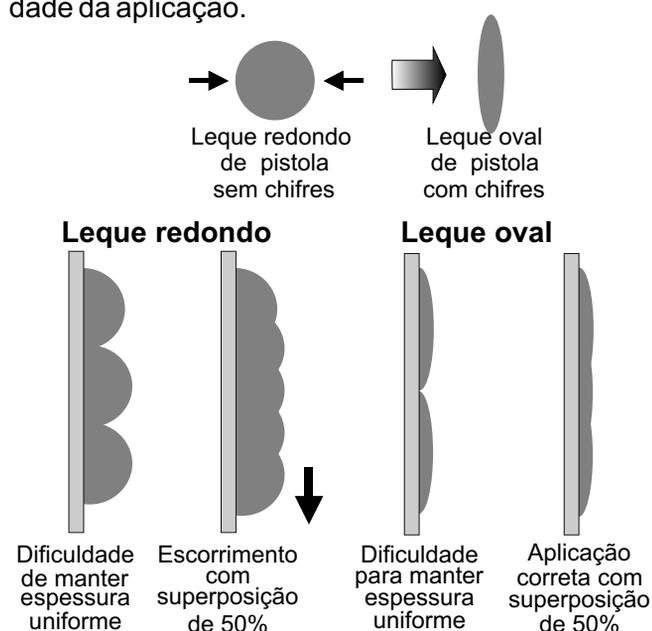


Figura 2.22 - O ar que sai dos furos dos chifres achata a configuração e dá formato oval ao leque

Bico e Agulha:

O bico funciona em conjunto com a agulha, formando uma "válvula". Quando o pintor aciona o gatilho, e este puxa a agulha, ela se afasta do bico deixando passar a tinta. Por isto quando trocar o bico deve-se trocar também a agulha e vice-versa, pois se o bico estiver gasto ou rachado ou a agulha estiver gasta ou torta, o ajuste não fica perfeito e a válvula não funciona direito, deixando inclusive escapar tinta. O diâmetro do bico determina a vazão, ou seja, a quantidade de tinta pulverizada por minuto.

Combinações capa/bico/agulha:

Como o bico funciona em conjunto com a agulha (o encaixe das duas peças é justo) e a capa fornece o ar necessário para a perfeita pulverização, combinações erradas podem afetar a produtividade e a qualidade das pinturas. Conhecendo melhor as combinações de capa/bico/agulha, o pintor pode aplicar quantidades maiores de tintas por hora e de maneira mais uniforme (ver tabelas na página seguinte).

Limpeza do equipamento:

No final do dia e no caso de mudança de tinta, a caneca ou a mangueira de tinta devem ser limpas. Para a caneca, usar pano ou papel absorvente que não soltem fiapos, embebidos no diluente para limpeza. Para limpar a mangueira, colocar uma lata de ¼ de galão de diluente no tanque, fechar a tampa, o parafuso de ajuste do ar na pistola e acionar o gatilho, apontando para uma lata limpa. O diluente sob pressão no tanque empurra a tinta para a pistola e esta poderá servir para algum retoque. A quantidade de tinta que resta na mangueira de 8 mm (5/16") de diâmetro por 3 metros de comprimento, chega a 150 cm³ (0,15ℓ). Um litro de solvente é suficiente para limpar até 3 metros de mangueira.

Cuidado: Ao término da aplicação de tintas bicomponentes, o pintor deverá lavar imediatamente a mangueira pois a tinta endurecida no seu interior irá inutilizá-la.

Pistola JGA 502/503 da De Vilbiss							
Capa	Bico	Agulha	Tipo de alimentação	Pressão (lb/pol ²)	Consumo de ar (PCM)	Largura do leque* (cm)	Combinação recomendada para tintas:
30	EX	EX	SUCÇÃO	30 40 50	7,4 9,0 10,0	23 a 30	finas e leves Ex.: esmaltes, primers somente em canecas
704	FX	FX	PRESSÃO	30 40 50	10,1 12,4 14,8	25 a 30	leves, médias e pesadas Ex.: tintas industriais em tanque de pressão
67	EX	EX	PRESSÃO	30 40 50	16,5 19,0 21,7	23 a 30	pesadas e viscosas Ex.: altos sólidos e alcatrão de hulha epoxídica

*largura do leque a um palmo de distância (8 polegadas)

Pistola P 800 da Graco							
Capa	Bico	Agulha	Tipo de alimentação	Pressão (lb/pol ²)	Consumo de ar (PCM)	Largura do leque* (cm)	Combinação recomendada para tintas:
01	106.819	106.830	SUCÇÃO	50	6,5	18,0 - 23,0	finas e leves Ex.: esmaltes, primers
21	106.820	106.831	SUCÇÃO	50	15,0	23,0 - 28,0	médias Ex.: esmaltes, vernizes, epoxídicas, poliuretânicas
02	106.817	106.829	PRESSÃO	50	17,0	35,5 - 43,0	finas e leves Ex.: esmaltes, primers
04Z	106.817	106.834	PRESSÃO	50	18,0	25,0 - 35,5	altos sólidos Ex.: esmaltes, primers epoxídicas e poliuretânica
05Z	106.824	106.835	PRESSÃO	50	19,0	30,5 - 40,0	pesadas e viscosas Ex.: altos sólidos e alcatrão de hulha epoxídica

*largura do leque a um palmo de distância (8 polegadas)

Tabela 2.5 - Configurações das pistolas De Vilbiss e Graco

Ao terminar o trabalho diário, o pintor deve desmontar a pistola, colocando o bico e a capa em um copo com solvente para amolecer ou dissolver a tinta. Se após a imersão ainda houver tingido aderida nestas partes, esfregar uma escova apropriada embebida no solvente para removê-la. O solvente amolece o resíduo que pode ser retirado dos orifícios da capa e do bico com um palito de madeira ou de cobre. Não usar arame, broca ou outro objeto de metal para limpar os orifícios. Como estas peças são feitas de aço ou de bronze niquelado, outros metais podem danificar o contorno dos orifícios impedindo-os de produzirem um leque adequado.

O corpo da pistola nunca deve ser mergulhado no diluente, pois este retira a lubrificação e pode

ressecar as guarnições. Além disto, o solvente sujo pode entupir as passagens de ar no interior da pistola.

Pistola HVLP

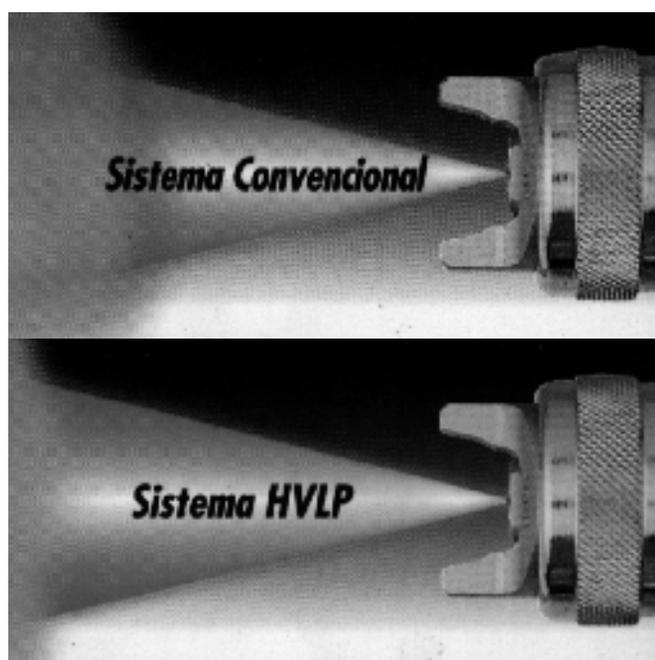
HVLP quer dizer alto volume e baixa pressão (High Volume, Low Pressure).

É uma pistola com ar comprimido que por uma mudança no seu desenho interno, utiliza uma pressão de pulverização menor porém um volume de ar alto. Por este motivo, consegue uma taxa de transferência de tinta melhor do que as pistolas convencionais. A pressão de pulverização é em torno de 10 libras (0,7 kg/cm²), enquanto pistolas convencionais ficam em torno de 40 a 50 libras

(2,8 a 3,5 kg/cm²). Este sistema produz menor nuvem de pulverização e o aproveitamento da tinta é muito mais eficiente. A pulverização é mais silenciosa. A cabina de pintura e o ambiente próximo da cabina ficam mais limpos.

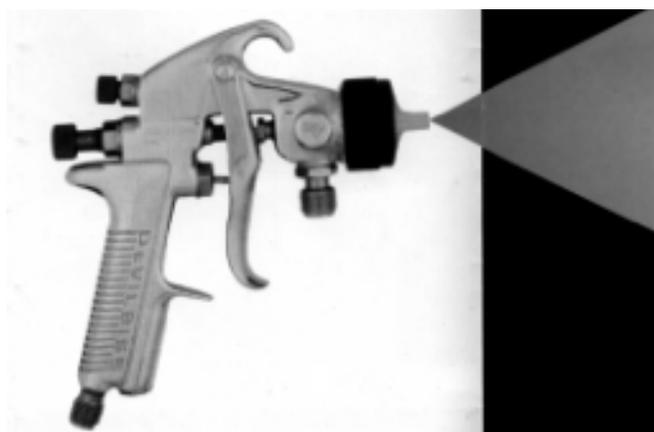
No entanto é importante saber que a pistola HVLP não proporciona aumento de produtividade.

É mais econômica e produz um acabamento muito bom, mas o rendimento em termos de peças produzidas por tempo é inferior ao da pistola convencional a ar comprimido.



Fonte: De Vilbiss Equipamentos para Pintura Ltda.

Figura 2.23 - Comparação entre pistola convencional e HVLP



Fonte: De Vilbiss Equipamentos para Pintura Ltda.

Figura 2.24 - Pistola HVLP

2.1.5.3.3 Airless (hidráulica)

Método de aplicação utilizado na pintura de grandes áreas, em ambientes fechados ou abertos, dependendo da necessidade de alta produtividade (pinturas de navios, grandes painéis, costado de tanques, etc.)

Este tipo de pistola não usa o ar comprimido para pulverizar a tinta. A alimentação da pistola é feita com bombas hidráulicas e a atomização é produzida pela passagem da tinta sob alta pressão através de um orifício de diâmetro muito pequeno. A pressão no pistão hidráulico chega até cerca de 4.000 lb/pol², enquanto nas pistolas convencionais a pressão no tanque fica por volta de 30 a 50 lb/pol².

Por causa da grande pressão e da presença de pigmentos nas tintas que provocam abrasão, o bico pulverizador é feito de carbeto de tungstênio.

Apesar de existirem mais de 90 tipos de bicos, à disposição do pintor, os mais usados são os de orifícios médios, de 0,018" a 0,021" com um grande ângulo (60° a 80°) e o com orifício pequeno, de 0,015" e um ângulo pequeno (30°). O mais comum em pinturas industriais é o de 0,018" com ângulo de 60°.

Diâmetro do orifício em polegadas	Viscosidade da tinta	Tipo de tinta	Pressão de trabalho (lb/pol ²)
0,007 a 0,010	muito fina	solventes e água	abaixo de 500
0,011 a 0,013	fina	lacas e seladoras	600
0,013 a 0,018	média	fundos (primers) e vernizes	1.800
0,015 a 0,031	viscosa	latex, esmaltes epóxi e poliuretanos	2.500
0,026 a 0,072	muito viscosa	tintas de alta espessura, epoximastiques e betuminosas	acima de 3.000

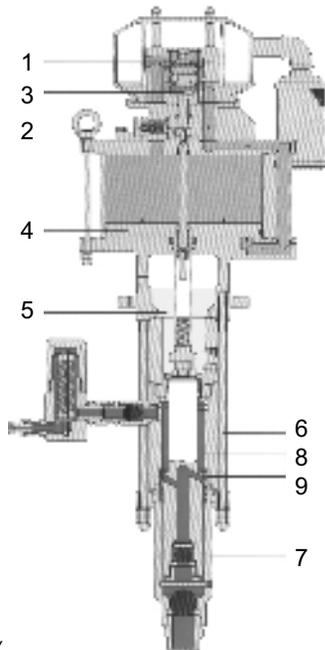
Tabela 2.6 - Seleção do bico em função do tipo de tinta

A distância entre a pistola airless e a superfície a ser pintada é maior.

Na convencional: de 15 a 25 cm e no airless: de 25 a 40 cm.

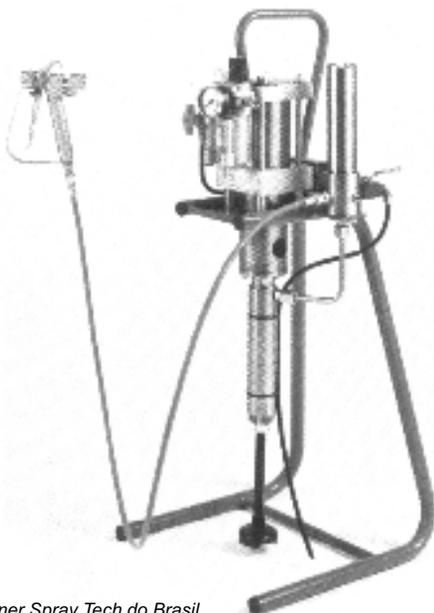
Como no caso das pistolas convencionais, a pistola airless deve ser mantida perpendicular à superfície e as técnicas de aplicação devem ser as mesmas.

1. Motor
2. Trava
3. Controlador de pulsação
4. Pistão com diâmetro variável
5. Câmara de lubrificação
6. Bomba
7. Guias de precisão
8. Passagem da tinta
9. Anéis de retenção



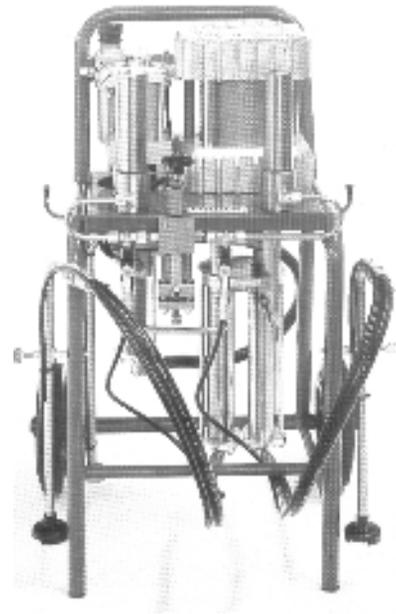
Fonte: WIWA Spraying Technology

Figura 2.25 - Bomba airless



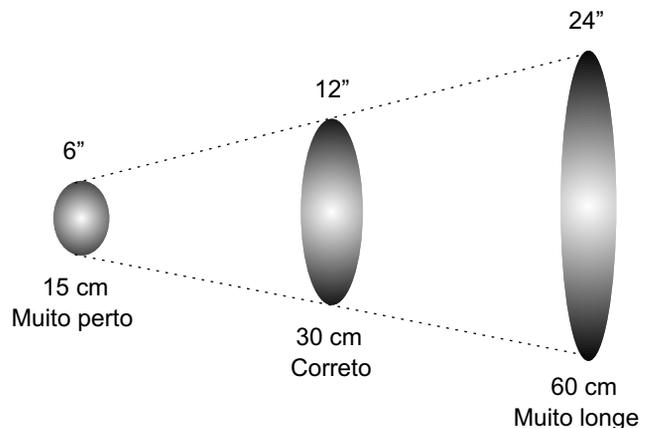
Fonte: Wagner Spray Tech do Brasil

Figura 2.26 - Bomba airless para tintas monocomponentes ou bicomponentes já misturada



Fonte: Wagner Spray Tech do Brasil

Figura 2.27 - Bomba airless para tintas bicomponentes com dosagem fixa

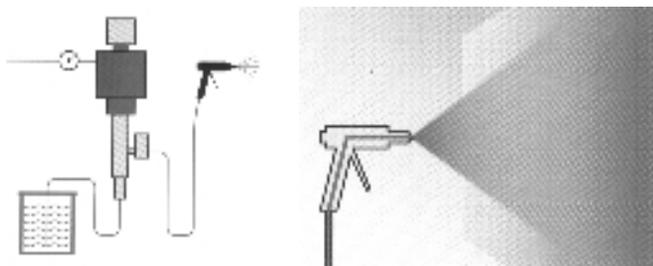


Fonte: Graco do Brasil Ltda.

Figura 2.28 - Distâncias entre a pistola e a superfície a ser pintada

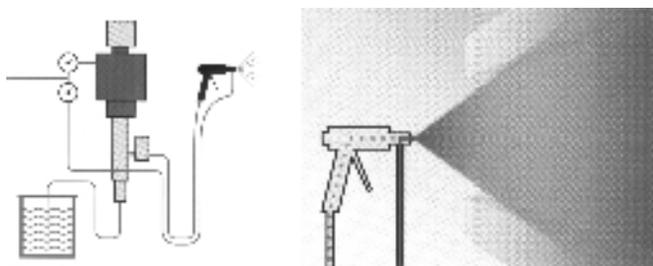
Airless assistida

É um método de aplicação misto entre o sistema airless e o convencional, pois utiliza a técnica de pressurização do airless, com pressões entre 3.000 e 4.000 lb/pol², e possui capa com chifres e com orifícios para saída do ar comprimido para auxiliar na pulverização. O airless assistido reúne as propriedades de pulverização sem necessidade de diluição e a pulverização com ar comprimido para melhorar a distribuição das partículas de tinta permitindo um acabamento mais fino em aparência.



Fonte: WIWA Spraying Technology

Figura 2.29 - Pistola airless (para grandes áreas)



Fonte: WIWA Spraying Technology

Figura 2.30 - Pistola airless assistida (para acabamentos finos)

2.1.5.3.4 Pintura eletrostática

Pintura eletrostática com tinta líquida

Como o próprio nome indica, neste método de aplicação estão envolvidas cargas eletrostáticas. A tinta é eletrizada na pistola e projetada contra a peça que está aterrada e portanto com carga de sinal contrário. Na pistola convencional a tinta é projetada e as partículas que não atingem a peça são perdidas. Na pistola eletrostática a tinta eletrizada é atraída pelo campo eletrostático e as partículas que seriam perdidas são atraídas para a peça. O aproveitamento é muito maior. Existem equipamentos para aplicação de tinta líquida ou em pó. A pintura eletrostática com tinta líquida utiliza a pulverização convencional a ar comprimido, o airless, ou a atomização por dispositivos como o disco ou o sino. Estes dois últimos são usados em aplicação automática com equipamento robotizado. O ajuste ou a adaptação das tintas para aplicação por processo eletrostático baseia-se na seleção dos aditivos e dos solventes, que irão fornecer maior ou menor polaridade.

É possível mudar o equipamento convencional para eletrostático usando a mesma tinta, somente com ajustes no solvente ou no diluente utilizado até então.

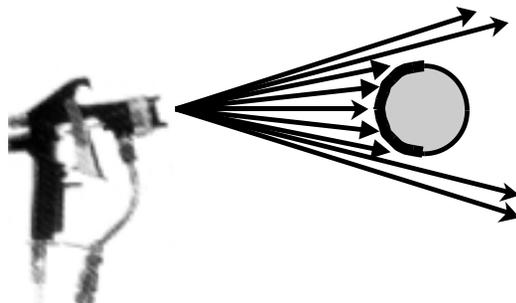


Figura 2.31 - Pistola convencional

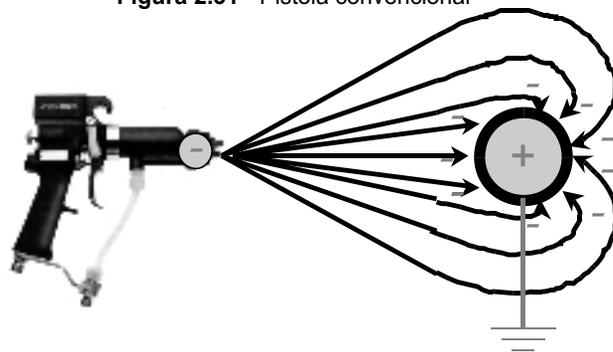


Figura 2.32 - Pistola eletrostática

Materiais Polares: Água, Álcool, Cetonas, Ésteres, Éteres, Aminas, e Ácidos.

Materiais não polares: Aromáticos e alifáticos.

As tintas eletrostáticas devem ser fornecidas dentro das faixas de condutividade ou resistividade, conforme as especificações do equipamento. No eletrostático condutivo, a faixa de condutividade é expressa em microamperes (μA). A faixa mais indicada para a aplicação é de 3 a 30 μA . No eletrostático resistivo, a resistividade é expressa em Megaohms ($\text{M}\Omega$) e a faixa mais indicada para a aplicação é de 0,4 a 0,8 $\text{M}\Omega$.

Para efetuar estas medidas de condutividade elétrica de líquidos, causado pela presença de cargas iônicas, é usado o condutímetro.



Fonte: BYKGardner Inc.

Figura 2.33 - Equipamento (Condutímetro) para medir a condutividade de tintas

Para se obter boa eficiência com equipamento eletrostático é necessário:

- 1 - Manter monovia, gancheiras e cabine bem aterradas;
- 2 - Manter as gancheiras limpas, para evitar o mau contato;
- 3 - Ajustar a tinta na faixa recomendada pelo fabricante do equipamento.

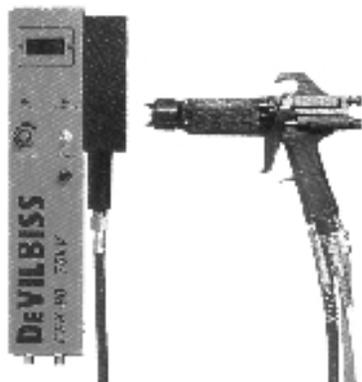
Essas precauções são necessárias para se obter atração eletrostática e bom envolvimento. A atração ocorre porque as peças são carregadas eletrostaticamente com cargas positivas, e a tinta com cargas negativas. A atração eletrostática é obtida através da fonte de alta tensão, que está ligada a toda instalação da pintura. A faixa de energia fornecida durante a aplicação é da ordem de 70.000 a 90.000 Volts, portanto o aterramento deve ser perfeito, para evitar incêndio, retorno de tinta e descargas elétricas no operador.

Os equipamentos eletrostáticos são: Pistolas manuais e automáticas (disco e turbo-bell robotizadas), mas vamos abordar apenas as pistolas manuais.

Pistola manual:

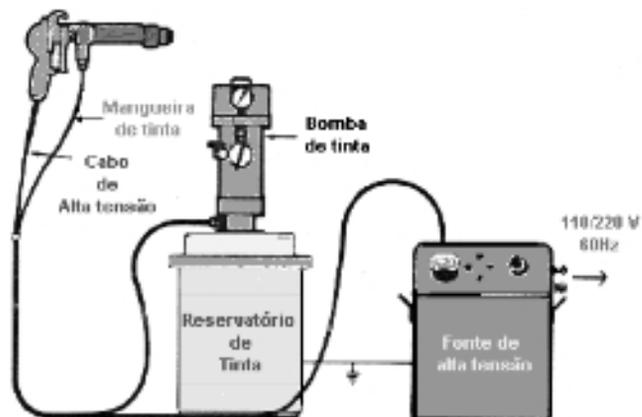
As condições acima devem ser seguidas rigorosamente para resguardo do operador.

As pistolas eletrostáticas manuais proporcionam aproximadamente 75% de rendimento da tinta, desde que o operador trabalhe de acordo com as características do equipamento.



Fonte: De Vilbiss Equipamentos para Pintura Ltda.

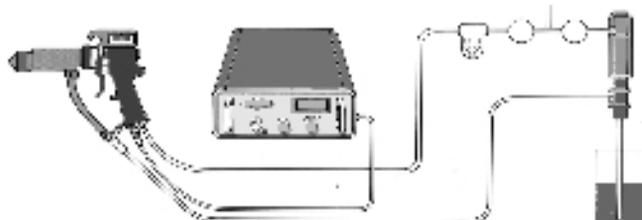
Figura 2.34 - Pistola eletrostática manual convencional



Fonte: De Vilbiss Equipamentos para Pintura Ltda.

Figura 2.35 - Pistola eletrostática manual airless

Há pistolas eletrostáticas que incorporam várias tecnologias. Abaixo pode ser observada uma que é eletrostática, airless e também assistida com ar comprimido para maior economia, produtividade e qualidade de aplicação.



Fonte: De Vilbiss Equipamentos para Pintura Ltda.

Figura 2.36 - Pistola eletrostática manual airless assistida

Pintura eletrostática com tinta em pó

A tinta em pó para pintura eletrostática é produzida com matérias primas em pó, processadas para aglomerar o componente A, o B e o pigmento em partículas que ao serem aquecidas em uma estufa na temperatura entre 160 e 190 °C sofrem fusão, reação e cura. As tintas em pó mais importantes são: epóxi, poliuretano, poliéster e híbrido (epóxi+poliuretano). Estas tintas só podem ser aplicadas em peças de tamanho pequeno e médio, por exigirem uma estufa para a sua cura.

São tintas de grande resistência à umidade, porém as epoxídicas não resistem ao intemperismo e como qualquer tinta epóxi mudam de cor e perdem o brilho em pouco tempo (menos de um ano).

Em peças e equipamentos para interiores, podem ser aplicadas diretamente sobre o aço. Para aplicações em que as peças ficarão expostas ao intemperismo e corrosão atmosférica, há necessidade de tratamento do aço ou galvanizado por fosfatização por que não há tinta em pó anticorrosiva para ser aplicada como primer e outra como acabamento. É uma tinta monocamada. As espessuras de camada variam de 50 a 120 micrometros.

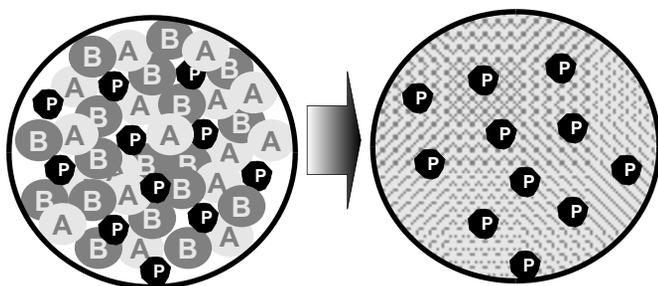
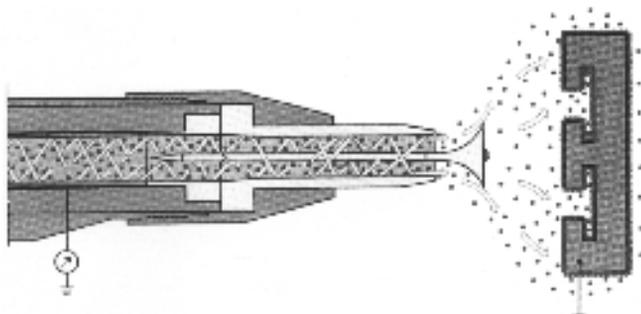
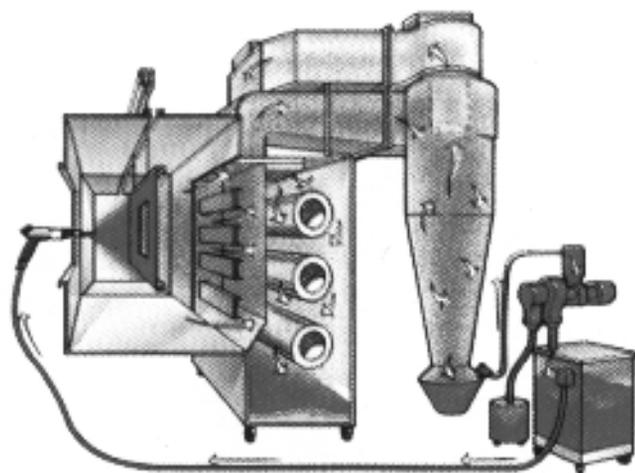


Figura 2.37 - Desenho esquemático mostrando como a tinta em pó cura em temperaturas entre 160 e 190 °C



Fonte: Wagner Spray Tech do Brasil

Figura 2.38 - Desenho esquemático do funcionamento de uma pistola eletrostática para tinta em pó



Fonte: Wagner Spray Tech do Brasil

Figura 2.39 - Desenho esquemático do funcionamento de uma cabina de pintura eletrostática para tinta em pó

2.1.5.4 Pintura por imersão

A pintura por imersão pode ser realizada de duas maneiras: Sem corrente elétrica e com corrente elétrica.

2.1.5.4.1 Sem corrente elétrica, convencional

Neste processo, que é o mais comum, a tinta é colocada em um tanque e as peças são mergulhadas completamente. A viscosidade da tinta é ajustada para que a espessura da camada seja uniforme e contínua. Para este tipo de imersão é preferível utilizar tintas monocomponentes, pois as bicomponentes, por sofrerem elevação de temperatura durante a reação, se solidificam. Lembrar também que volumes grandes de tintas bicomponentes têm vida útil menor do que pequenos volumes. Uma das soluções para aplicar a tinta bicomponente sem ter que utilizar grandes tanques é a aplicação por esguicho. Uma bomba faz a tinta circular entre uma caçamba e a peça. A tinta é espalhada sobre a peça e o excesso escorre para o fundo da caçamba, onde é recolhida e bombeada de volta para a peça. Podem ser utilizadas neste processo quantidades de um a dois galões de tinta bicomponente. É importante neste caso, acertar a viscosidade da tinta para conseguir a espessura correta e manter esta viscosidade durante a aplicação.

2.1.5.4.2 Pintura por imersão com corrente elétrica

Este processo chama-se Eletroforese e pode ser anódica ou catódica.

Eletroforese é a migração das partículas de uma solução coloidal (tinta na água), sob a influência de um campo elétrico. A tinta nos dois processos é à base de água e sob ação do campo elétrico gerado pela diferença de potencial, as partículas de tinta migram do tanque para a peça e nela aderem, expulsando a água pela eletrosmose, que é a passagem do líquido de dentro para fora da película da tinta. Este fenômeno é a exosmose. Após receber a tinta, as peças saem do tanque, e vão para uma estufa para sofrerem a cura.

Eletroforese anódica ou anaforética

Neste processo, a tinta e o tanque tem cargas elétricas negativas e as peças a serem pintadas são ligadas a uma monovia ou gancheira com cargas elétricas positivas.

A tinta é então atraída pelo campo elétrico para as peças onde a tinta é depositada.

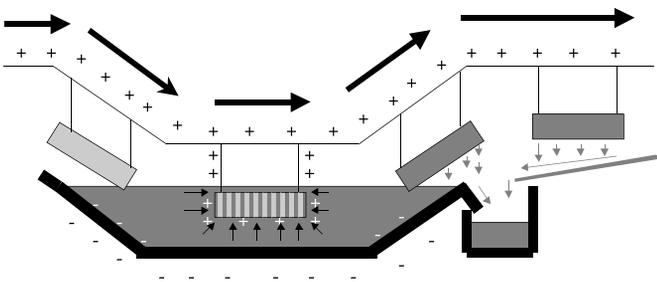


Figura 2.40 - Sistema de pintura por eletroforese anódica (Anaforese)

Eletroforese catódica ou cataforética

Neste processo, a tinta e o tanque tem cargas elétricas positivas, ao contrário da anaforese e as peças a serem pintadas são negativas.

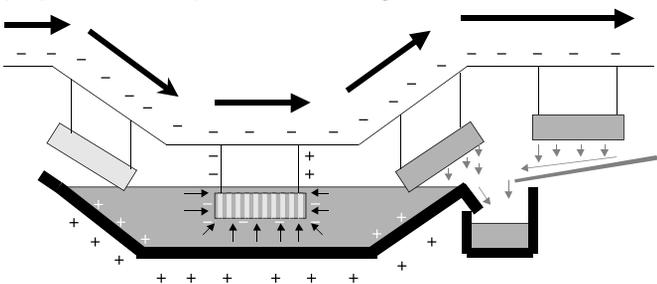


Figura 2.41 - Sistema de pintura por eletroforese catódica (Cataforese)

Este processo é o mais utilizado hoje em dia por que tem maior penetração nas frestas e dentro de tubos e utiliza tintas epoxídicas mais modernas e com maior desempenho dos que as da anaforese.

2.1.6 Medidas de espessura úmida da tinta

A medida de espessura úmida permite que o pintor já saiba no momento da aplicação qual será a espessura seca que será obtida. Isto é importante para o controle de qualidade da pintura.

Os solventes, imediatamente após a aplicação das tintas começam a se evaporar. Com isso, a espes-

sura da camada diminui, dependendo do teor de solventes, ou seja, de acordo com o volume de sólidos.

A medida é feita imediatamente após a aplicação, com um pente de aço inox que tem dois pés com o mesmo comprimento e outros com comprimentos variáveis, em forma de escada.

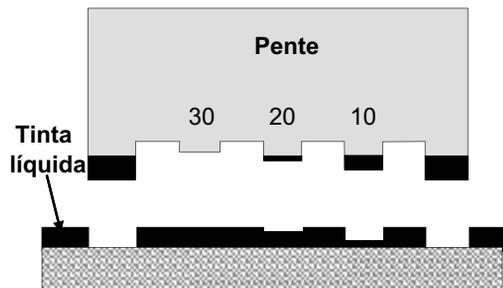


Figura 2.42 - Medidor de espessura úmida (pente)

O pintor apoia o pente sobre a superfície pintada e verifica qual foi o dente de maior valor que molhou e o primeiro após que não molhou.

No exemplo acima, 20 μm foi o maior valor que molhou e 30 μm foi o primeiro que não molhou. O valor da espessura é: $(20+30) / 2 = 25 \mu\text{m}$. Na prática, o pintor lê o valor do maior dente molhado (20 μm).

Como a espessura seca (EPS) é especificada, os sólidos por volume (SV) são dados na ficha técnica e a % de diluição (% Dil) efetivamente realizada, é anotada, podemos calcular a espessura úmida usando a seguinte fórmula:

$$\text{EPU} = \frac{\text{EPS} \times (100 + \% \text{ Dil})}{\text{SV}}$$

Exemplo: Se a espessura seca especificada é de 120 μm , o teor de sólidos é de 75 % e a diluição feita na preparação da tinta foi de 20%, que EPU será obtida?

$$\text{EPU} = \frac{120 \times (100 + 20)}{75} = 192$$

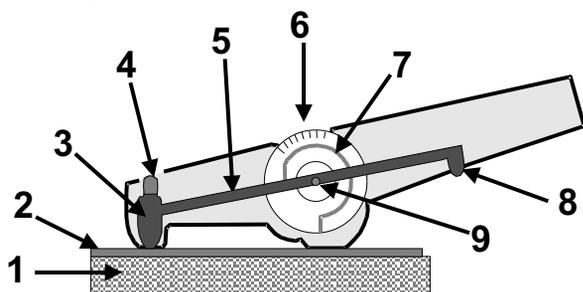
Por outro lado, tendo a espessura úmida, o pintor pode calcular a espessura seca que será obtida usando a seguinte fórmula:

$$\text{EPS} = \frac{\text{EPU} \times \text{SV}}{(100 + \% \text{ Dil})}$$

2.1.7 Medidas de espessura seca da tinta

Após a evaporação dos solventes e da cura das tintas, a película seca, já endurecida, pode ser medida com diversos tipos de aparelhos. Os magnéticos são os mais comuns, e os mais usados destes medidores são: o Magnético (jacaré, pica-pau ou Mikrotest) e o Eletrônico.

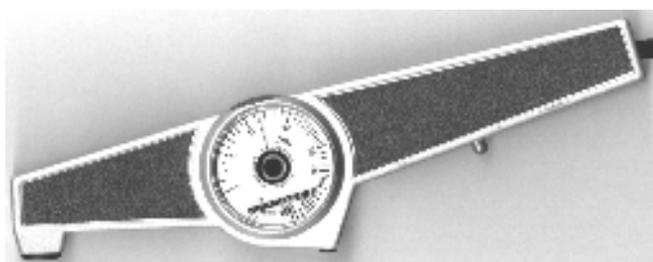
Magnético (jacaré, pica-pau ou Mikrotest)



1 - Aço carbono	6 - Disco graduado
2 - Camada de tinta	7 - Mola calibrada
3 - Ímã	8 - Pino de armar
4 - Pino avisador	9 - Eixo da haste
5 - Haste balanceada	

Fonte: Mikrotest Elektrophysik

Figura 2.43 - Desenho esquemático do aparelho magnético



Fonte: Mikrotest Elektrophysik

Figura 2.44 - Aparelho magnético para medidas de espessura seca de tinta aplicada sobre aço

O manejo do aparelho é simples. Calibra-se o zero sobre uma superfície de aço carbono nu e polido e depois em cima de uma lâmina aferida, com espessura conhecida, sobre a mesma superfície inicial. Após estas duas calibrações, é só colocar o aparelho sobre a superfície pintada e efetuar a medição.

Eletrônico - Como medir

Coloca-se o apalpador sobre uma placa de aço polida e calibra-se o zero. Em seguida coloca-se uma lâmina aferida e sobre ela o apalpador, ajustando-se o valor da lâmina. Confere-se o zero novamente e o aparelho estará pronto para as medições.

Existem aparelhos eletrônicos para medidas sobre metais não ferrosos e modernamente o aparelho por ultra-som permite leitura de espessura de camadas de tinta sobre superfícies não metálicas também.

O aparelho magnético é mais usado no campo e o eletrônico em laboratórios.



Fonte: Sheen Instruments Ltd.

Figura 2.45 - Aparelho eletrônico

Capítulo 3

Tintas e vernizes

3.1 Tintas e Vernizes

Definições de tinta e de verniz, segundo a norma ISO 4618: Tinta é um produto líquido ou em pó que quando aplicado sobre um substrato, forma uma película opaca, com características protetoras decorativas ou técnicas particulares. Verniz é um produto que quando aplicado sobre um substrato, forma uma película sólida transparente com características protetoras, decorativas ou técnicas particulares.

Uma outra definição clássica de tintas é: Tinta é uma composição líquida que depois de aplicada sobre uma superfície, passa por um processo de secagem ou cura e se transforma em um filme sólido, fino, aderente, impermeável e flexível.

Para o aço, a tinta é um produto que tem tanto a função protetiva como a decorativa.

3.1.1 Composição das tintas

As tintas são compostas por 4 grupos de matérias primas: Solventes, Resinas, Pigmentos e Aditivos.

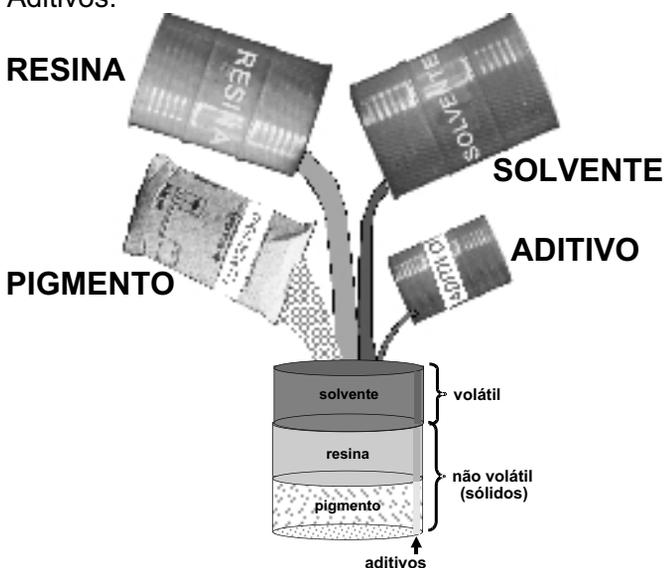


Figura 3.1 - Desenho esquemático da fabricação de tintas com suas matérias primas

3.1.1.1 Solventes

Os solventes utilizados nas diversas tintas para aplicação em aço são de diferentes naturezas químicas: hidrocarbonetos alifáticos (aguarrás e naftas leves), hidrocarbonetos aromáticos (xileno e

tolueno), glicóis (etil glicol, butil glicol, acetato de etil glicol, acetato de butil glicol, acetatos (acetato de etila, acetato de butila, acetato de isopropila), cetonas (metil etil cetona-MEK, metil isobutil cetona-MIBK e ciclohexanona) e álcoois (álcool isopropílico e álcool butílico).

Todos são compostos orgânicos 100% voláteis, que têm a função de dissolver a resina. São produzidos pela indústria química ou petroquímica mas a origem é o petróleo.

Numa tinta são utilizadas composições de solventes, onde são misturados solventes leves, médios e pesados em proporções que permitam a evaporação rápida dos mais leves para que a tinta fique mais viscosa e evite escorrimientos em superfície vertical e os mais pesados deixem a película posteriormente para que a tinta possa ter melhor penetração na superfície e melhor alastramento. O solvente tem a função de diminuir a viscosidade das tintas para facilitar a aplicação, de homogeneizar a película, de melhorar a aderência e atuar sobre a secagem.

Como características, os solventes apresentam além da volatilidade e do poder de solvência, a inflamabilidade e a toxicidade. O cheiro também é uma característica dos solventes, embora tenham sido lançadas recentemente algumas tintas com solventes de baixo odor (à base de hidrocarbonetos alifáticos desodorizados). O solvente, aguarrás de baixo odor é um exemplo, que além de causar menor desconforto para quem pinta e para as pessoas próximas à pintura, é mais seguro pois o ser humano tem maior tolerância a este tipo de solvente.

3.1.1.2 Resinas

Das resinas dependem as propriedades de resistência das tintas e o comportamento frente ao meio agressivo e as condições de uso.

As resinas são conhecidas também como ligante ou veículo fixo e são os componentes mais importantes das tintas, pois são responsáveis pelas propriedades de aderência, impermeabilidade e flexibilidade. As resinas hoje em dia são todas

orgânicas, de natureza polimérica, exceto o silicato inorgânico de zinco que se trata de um veículo inorgânico à base de silicatos de: sódio, potássio ou de lítio.

As resinas mais importantes das tintas para pintura de aço são: Alquídicas, Acrílicas, Epoxídicas, Poliuretânicas, Etil Silicato de Zinco e Silicone.

De acordo com o tipo de resina, o químico formulador deve selecionar o solvente apropriado para dissolver a resina. Na tabela abaixo, são apresentados alguns tipos de resinas e seus solventes mais comuns:

Tipo de resina	Tipo de solvente mais usado
Alquídica	Aguarrás ou xileno ou misturas destes
Acrílica	Misturas de acetatos, xileno, cetonas e álcoois cíclicos
Epóxi	Misturas de MEK e MIBK com xileno e álcool butílico
Poliuretano	Acetato de etila, acetato de butila e misturas de MEK e
Etil silicato de zinco	Álcool isopropílico e álcool butílico
Silicone	Xileno e tolueno

Tabela 3.1 - Tipos de resinas e solventes apropriados

3.1.1.2.1 Resina alquídica

As resinas alquídicas são obtidas pela reação de um polialcool com um poliácido modificadas com óleos vegetais e outras resinas. Esta reação resulta em um poliéster modificado.



Figura 3.2 - Esquema simplificado de obtenção da resina alquídica

A palavra alquídica não existe no dicionário. Foi adaptada da palavra ALKYD em inglês, união do prefixo AL de alcohol + o sufixo YD, derivado de acid. A reação de um polialcool com um poliácido produz um poliéster, um polímero muito duro e quebradiço.

Alquídica é sinônimo de resina sintética por que foi uma das primeiras resinas produzidas pela

indústria de tintas, que não era natural, mas sintetizada em reatores. Para a obtenção de uma resina com propriedades interessantes para tintas, foi necessário adicionar o óleo vegetal na reação.

No comércio existem tintas feitas com esta resina e são conhecidas como esmalte e primer sintéticos. São as mais comuns, as mais permeáveis e as menos resistentes do mercado.

A introdução de uma resina fenólica na reação de produção desta resina aumenta a sua impermeabilidade e com isto a sua resistência à umidade, porém seu desempenho ainda assim é limitado. Estas resinas são chamadas de alquídicas fenoladas, são superiores as alquídicas comuns, mas mesmo assim não suportam situações de extrema umidade, imersão e exposição em ambientes químicos corrosivos.

A secagem das alquídicas se processa ao ar e é responsabilidade dos óleos que as compõe. Podem ser de secagem lenta ou rápida, dependendo do tipo de álcool ou do ácido empregado. Depende também do comprimento (teor de óleo) e do tipo de óleo.

As resinas alquídicas de secagem lenta são fabricadas com teores altos de óleo e as alquídicas de secagem rápida são produzidas com resinas curtas ou médias em óleo.

Modernamente as resinas alquídicas são produzidas também à base de água. São praticamente as mesmas resinas dissolvidas em solventes, porém emulsionadas em água e sem solventes. Aditivos especiais foram desenvolvidos para possibilitar a emulsão e para dispersar os pigmentos em água. A secagem destas resinas ocorre pelo mesmo mecanismo daquelas à base de solventes e se inicia após a evaporação da água.

3.1.1.2.2 Resina acrílica

São resinas obtidas da reação de polimerização de monômeros acrílicos como o metacrilato de metila e acrilato de butila. O metacrilato de metila é duro e quebradiço e o acrilato de butila é mole e elástico. A combinação de ambos resulta em co-

polímeros com propriedades intermediárias, que são interessantes às tintas. Podem ser produzidas ou dissolvidas com solventes orgânicos ou dispersadas em água (resina em emulsão). São chamadas de termoplásticas por que amolecem com o calor e também porque são dissolvidas com solventes. Ambas são muito resistentes ao intemperismo e não amarelecem como as alquídicas.

3.1.1.2.3 Resina epoxídica

Estas resinas constituídas de Éter de Glicidil de Bisfenol A (EDGBA) são catalisadas com poliaminas, poliamidas e com isocianato alifático.

Resina epóxi

A resina epóxi é obtida a partir da salmoura e do petróleo:

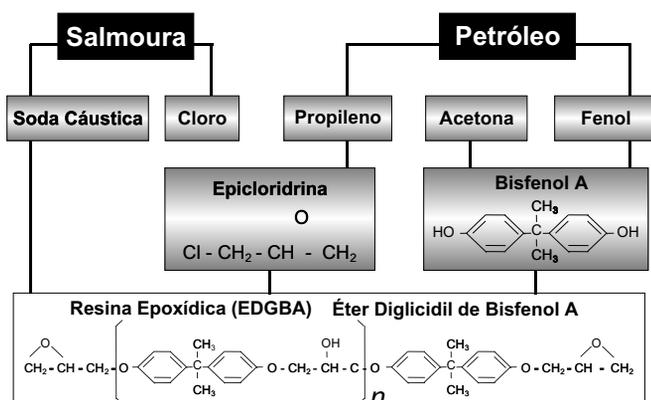


Figura 3.3 - Obtenção da resina epoxídica

Os grupos C-C-O das extremidades são os grupos epóxi que dão nome à resina. A letra *n* indica o número de repetições do grupo entre parêntesis e quanto maior, mais flexível, mais impermeável e mais aderente é a resina e indica também se a resina é sólida ou líquida. *n* grande -> sólida e *n* pequeno -> líquida.

A resina epóxi (EDGBA) sozinha não tem propriedades interessantes para tintas. É necessário reagir-la com outra resina chamada de catalisador, agente de cura ou endurecedor e dependendo da sua natureza química teremos propriedades diferentes e específicas. Três resinas são as mais usadas:

Poliamina

Estas resinas produzem polímeros com excelente dureza, aderência, resistência química e física e resistência a solventes, combustíveis e lubrificantes.

Poliamida

Estas resinas produzem polímeros com excelente dureza, flexibilidade, aderência e excelente resistência à água e à umidade.

Isocianato

Estas resinas produzem polímeros com excelente aderência sobre metais não ferrosos. O isocianato que propicia melhor resultado para tintas promotoras de aderência é o alifático.

As resinas epoxídicas emulsionadas permitem a produção de tintas à base de água, para alvenaria e para metais.

3.1.1.2.4 Resinas poliuretânicas

Estas resinas podem ser compostas por resinas de poliéster ou acrílicas polihidroxiladas e são catalisadas com resinas isocianato alifático ou aromático.

Isocianato alifático

É o que oferece maior resistência ao intemperismo. O hexametileno diisocianato é o isocianato alifático mais usado.

Isocianato aromático

Tem boas propriedades de aderência, de secagem rápida porém é usado apenas em tintas poliuretânicas para interiores pois não resistem ao intemperismo. O tolueno diisocianato é o isocianato aromático mais usado. O termo aromático é por que o composto possui grupos aromáticos (anel benzênico do tolueno).

No Brasil a resina poliuretânica à base de água não é utilizada em larga escala por causa do alto preço que ela confere à tinta.

3.1.1.2.5 Resina etil silicato de zinco

Estas resinas são à base de silicato de etila e reagem com zinco em pó, produzindo silicato de zinco que é um produto inorgânico e que pode resistir até 500 °C.

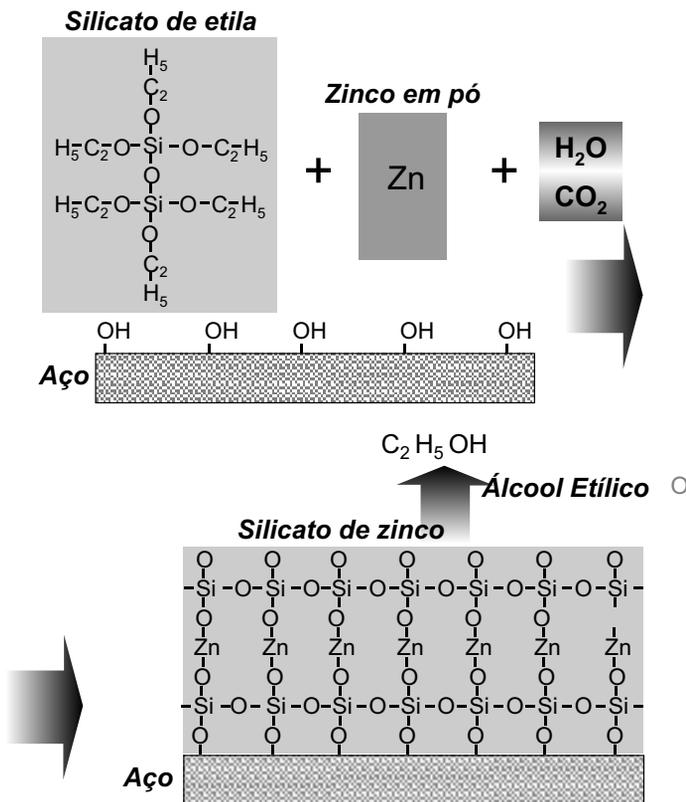


Figura 3.4 - Reação de cura da resina Etil Silicato de Zinco

Para que a resina possa produzir um filme de silicato de zinco é necessário que haja na atmosfera vapor de água (H₂O), umidade relativa do ar acima de 50% e gás carbônico (CO₂).

3.1.1.2.6 Resina de silicato inorgânico de zinco

Estas resinas, que na verdade não são orgânicas tratam-se de silicato de sódio, de potássio ou de lítio.

Como no caso da resina de silicato de etila, os silicatos de sódio, potássio ou de lítio formam silicato de zinco, ligando o pigmento à matriz inorgânica da tinta e ao metal base, no caso o ferro do aço.

3.1.1.2.7 Resina de silicone

As resinas à base de silicones resistem a temperaturas até 600 °C. Estas resinas necessitam de pré-cura entre 150 e 230 °C. As tintas formuladas com estas resinas apresentam somente as cores: preta e alumínio.

3.1.1.2.8 Secagem e cura das tintas

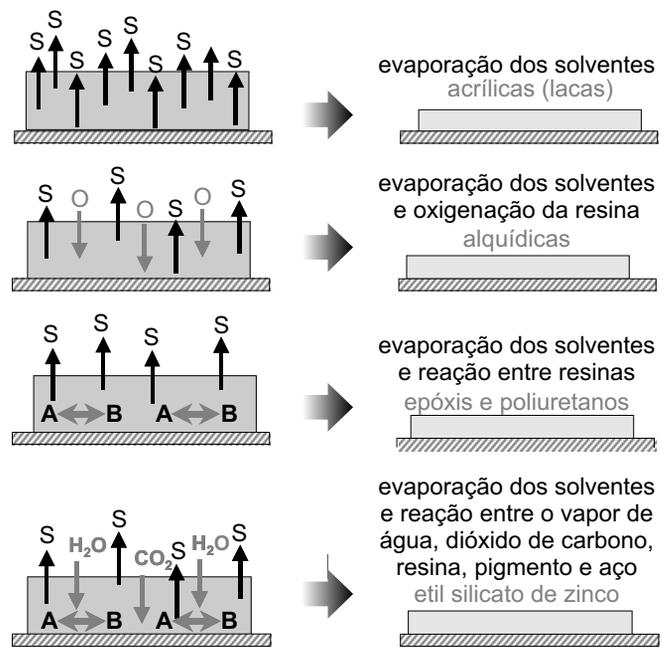


Figura 3.5 - Esquema simplificado de cura das tintas

3.1.1.3 Pigmentos

São pós muito finos. Podem ser brancos, pretos, coloridos, incolores, metálicos, anticorrosivos e inertes.

Os pigmentos anticorrosivos são capazes de proteger o aço contra a corrosão. Os inertes não possuem cor nem são anticorrosivos, mas são usados para conseguir propriedades, como: resistência à abrasão, lixabilidade, fosqueamento das tintas, etc.

3.1.1.3.1 Pigmentos coloridos

Quem dá cor às tintas são os pigmentos.

As cores primárias dos pigmentos mais importantes são: branca, preta, vermelha, laranja, amarela, verde, azul, púrpura, alumínio e dourada.

As combinações de cores são infinitas. Basta misturar os pigmentos coloridos primários para obter a cor que desejar.

3.1.1.3.2 Pigmentos anticorrosivos

Nenhuma resina é totalmente impermeável. Por isso, quando o vapor de água e os gases corrosivos, permeiam as camadas de tintas, os pigmentos anticorrosivos produzem modificações no agente agressivo atenuando a sua agressividade. Como os gases do meio industrial, na sua maioria, são ácidos, alguns pigmentos anticorrosivos promovem uma neutralização e em alguns casos chegam até a alcalinizá-los. Em meio alcalino o aço é apassivado e praticamente não há corrosão. Outros pigmentos se dissolvem (se hidrolisam) e formam uma camada protetora que isola o substrato metálico do meio agressivo que permeou.

Pigmentos anticorrosivos mais usados para superfícies de aço carbono:

Cromato de zinco [4ZnO . K₂O . 4CrO₃ . 3H₂O]

É um pigmento amarelo que, por ser parcialmente solúvel em água, se dissolve formando uma camada de íons cromato os quais isolam o aço do meio corrosivo. É tóxico por que contém Cromo, um metal pesado.

Zarcão [Pb₃O₄]

Este é um dos mais antigos pigmentos usados na proteção do aço. É composto de óxido de chumbo. O zarcão é alcalino, por isso neutraliza o meio agressivo ácido e tem capacidade de transformar íons solúveis, como o ferroso, em íons insolúveis como o férrico. Quando o óxido ferroso passa para óxido férrico, ele forma uma camada protetora quase impermeável sobre o aço, isolando-o do meio corrosivo. O zarcão tem mais um mecanismo de proteção anticorrosiva, que só funciona se a resina for à base óleos vegetais secativos, ou alquílicas modificadas com óleos. É a capacidade de formar com estes óleos um sabão de chumbo, que também isola o aço do meio agressivo. O zarcão é tóxico por que contém Chumbo, um metal pesado.

Fosfato de zinco [Zn₃(PO₄)₂ . 2H₂O]

É um pigmento branco, não tóxico. Ao ser permeado pelo vapor de água, se dissolve parcialmente formando na superfície do aço uma camada de fosfato, que isola este metal do meio corrosivo. Por ter baixa cobertura (deixa ver o fundo), é usado em conjunto com outros pigmentos, como por exemplo, o óxido de ferro (vermelho) que também não é tóxico, para facilitar a visualização da uniformidade e o controle de espessura da camada. Este foi o primeiro pigmento anticorrosivo usado em substituição ao zarcão.

Silicato de cálcio

Este pigmento ao ser permeado pelos agentes agressivos, captura o íon hidrogênio e libera o íon cálcio, que se precipita sobre a interface metal/tinta, formando uma camada impermeável e protetora, minimizando os problemas de corrosão. É um pigmento não-tóxico por que não contém metais pesados.

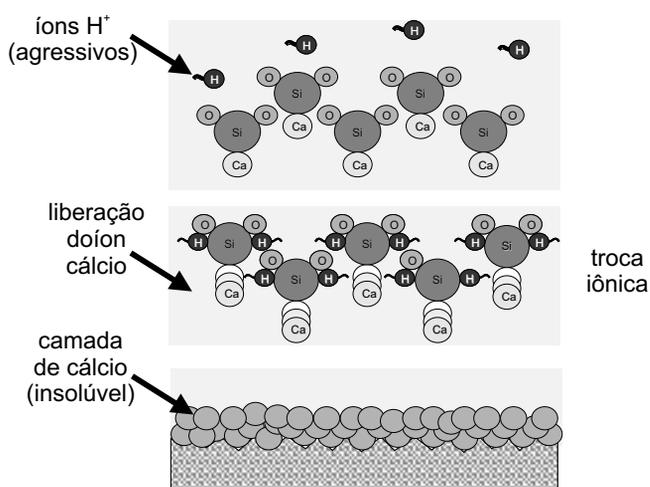


Figura 3.6 - Ação do pigmento anticorrosivo silicato de cálcio

Zinco metálico [Zn⁰]

O pigmento de zinco é constituído de zinco metálico com alta pureza.

As partículas de zinco metálico têm uma cor cinza claro fosco. As resinas que funcionam bem com os pigmentos de zinco são as epoxídicas e as

de etil silicato de zinco. As tintas de zinco são chamadas de “galvanização a frio” ou de “tintas ricas em zinco”, por que para funcionarem como uma galvanização, o teor de zinco na película seca deve ser alto.

Óxido de ferro [Fe₂O₃]

Óxido de ferro é um pigmento vermelho que ao contrário do que muitos pensam, não tem nenhum mecanismo de proteção anticorrosiva. Ele atua como uma barreira dificultando a passagem do meio agressivo. Suas partículas, embora minúsculas, não são atravessadas, por serem sólidas e maciças. Para chegar ao aço, o vapor de água, permeia a resina que será tanto mais difícil de ser atravessada quanto mais impermeável for. É uma tradição no Brasil que a tinta de fundo (primer) seja vermelha, mas poderia ser de outra cor, pois o que importa é o princípio ativo do pigmento. As funções do pigmento de óxido de ferro podem ser exercidas por qualquer pigmento cujas partículas são insolúveis. As grandes características deste pigmento são: não ser tóxico, ter bom poder de tingimento, boa cobertura e ter preço médio.

Pigmentos lamelares

O alumínio e outros pigmentos lamelares como mica, talco, óxido de ferro micáceo e alguns caulins, funcionam pelo mecanismo de formação de uma camada com folhas microscópicas superpostas, como se fossem chicanas, constituindo uma barreira que dificulta a permeação do meio agressivo.

Quanto melhor for a barreira, mais durável será a tinta. Por isso, é necessário escolher resinas mais impermeáveis para compor com pigmentos lamelares uma ótima barreira contra a penetração do meio agressivo. Enquanto o eletrólito não atinge o metal, não há corrosão.

Óxido de ferro micáceo

Excelente na formação de barreira. Tintas feitas com este pigmento propiciam melhor retenção nas bordas e arestas vivas. O Óxido de Ferro Micáceo tem uma coloração cinza escuro e é um

minério natural conhecido também como hematita lamelar. A estrutura lamelar é a sua diferença marcante para o óxido de ferro comum, amorfo, de cor avermelhada. Sua fórmula química é semelhante a da hematita, ou seja Fe₂O₃, que é o Óxido de Ferro comum, vermelho. O nome “micáceo” é usado para indicar sua similaridade com a mica em sua forma cristalina. Entretanto, a mica não tem nada a ver com este pigmento.

O Óxido de Ferro Micáceo é mais inerte quimicamente do que o Óxido de Ferro amorfo. Ele não é afetado por produtos alcalinos e é pouco solúvel em ácidos diluídos, exceto o ácido clorídrico. É um pigmento não tóxico, que não sangra, não provoca calcinação (gizamento) e tem resistência a luz (não desbota).

3.1.1.3 Pigmentos inertes (cargas)

São pigmentos que não têm cor, não são opacos nem têm mecanismos de proteção anticorrosiva, mas são muito importantes nas tintas para proporcionarem propriedades específicas. Alguns dos mais importantes são: mica, talco, caulim, óxido de ferro micáceo, sílicas, quartzo e óxido de alumínio.

Mica

Pigmento de formato lamelar, com partículas de diâmetro maior do que espessura, que ajudam na formação de barreira contra a corrosão.

Talco

Pigmento de formato lamelar, é usado para melhorar a estabilidade da tinta na estocagem e melhorar a lixabilidade da tinta, por ser a carga de menor dureza entre os minerais. É Silicato de Magnésio Hidratado.

Caulim

Pigmento muito parecido com o talco que também ajuda na formação de barreira contra a corrosão. Um outro tipo de caulim é o agalmatolito que usado dentro de certas proporções diminui o custo da tinta. É Silicato de Alumínio Hidratado.

Sílicas

São usadas como agente fosqueante e para melhorar a resistência ao desgaste. O tipo Sílica Pirogênica é usada como agente reológico, ou espessante para aumentar a espessura por demão de tintas, em superfícies verticais sem escorrimentos ou descaimentos.

Quartzo

É um tipo de sílica e também é usado para melhorar a resistência ao desgaste.

Óxido de alumínio

É o pigmento de maior dureza usado em tintas e obviamente é usado em tintas para máxima resistência à abrasão e ao desgaste.

3.1.1.4 Aditivos

São compostos adicionados em pequenas quantidades, da ordem de 0,1 a 1,0%, que são utilizados para melhorar o processo de fabricação, de estocagem e de aplicação das tintas.

Existem vários tipos de aditivos, mas os principais são:

Dispersantes ou tensoativos ou umectantes

Facilitam a introdução dos pigmentos durante a fabricação, ajudam a estabilidade da suspensão de pigmentos durante a estocagem e melhoram a aplicação e a umectação da superfície e conseqüentemente aumentam a aderência das tintas enquanto elas estão líquidas. Depois de secas a responsabilidade é das resinas.

Espessantes

Propiciam maior estabilidade à tinta na estocagem e possibilitam maiores espessuras por demão nas aplicações em superfícies verticais. Em tintas de menor qualidade são usados compostos celulósicos e em tintas de maior desempenho são usadas as sílicas pirogênicas.

Secantes

Os secantes são catalisadores metálicos, que aceleram a secagem de tintas alquídicas agindo nos óleos vegetais que as compõe fazendo com que o oxigênio reaja mais rápido.

Antibolhas

São compostos à base de silicone, que não impedem a formação de bolhas de ar, mas possibilitam a eliminação rápida destas que são introduzidas nas tintas durante a agitação e principalmente durante a aplicação à rolo.

Antinata

São compostos voláteis que são adicionados às tintas durante a sua fabricação e que impedem a reação do oxigênio do ar com os óleos das tintas alquídicas, enquanto elas estão fechadas na embalagem. Tão logo as tintas são aplicadas, os compostos deixam a película e liberam as resinas para reagirem com o oxigênio da atmosfera e serem curadas.

3.1.2 Aspectos econômicos das tintas

3.1.2.1 Sólidos por volume

Quando o solvente e os compostos voláteis da tinta evaporam, o que resta na superfície pintada são os sólidos, ou seja, o material não volátil que faz parte da tinta. Como a tinta é comprada em volume (litros ou galões de 3,6 ℓ), o que interessa é a quantidade em volume de material sólido que fica após a evaporação dos voláteis. Por isso, os sólidos por volume é tão importante para se verificar o rendimento e o custo de uma tinta.

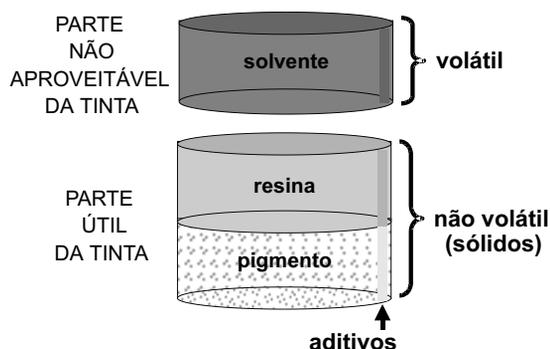


Figura 3.7 - Composição das tintas

Os Sólidos por Volume estão relacionados diretamente com o rendimento da tinta.

3.1.2.2 Rendimento

Há 3 tipos de rendimento: O Rendimento Teórico, o Rendimento Prático e o Rendimento Real.

3.1.2.2.1 Rendimento teórico

É, como o próprio nome indica, teórico, ou seja, ideal e não inclui no seu cálculo as perdas devidas ao método, às condições de aplicação e ao treinamento do pintor. Há uma fórmula prática que leva em consideração o volume de sólidos e a espessura da película seca:

$$Rt = \frac{SV \times 10}{EPS}$$

Onde:

Rt = Rendimento teórico (em m^2/ℓ)

SV = Sólidos por volume (em %)

EPS = Espessura da película seca (em μm)

10 = Constante de fórmula para que o resultado seja expresso em m^2/ℓ

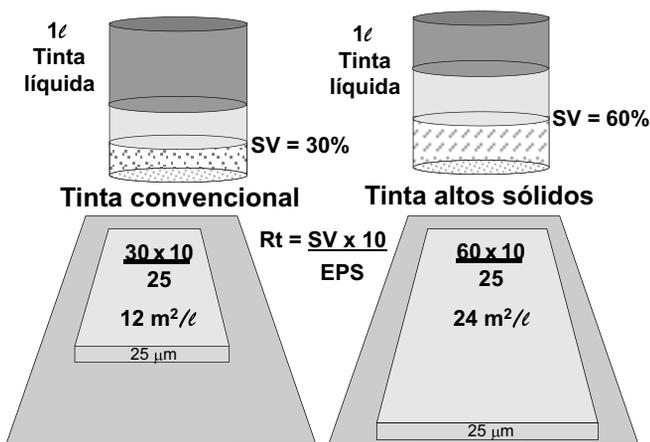


Figura 3.8 - Comparação do rendimento entre tinta convencional e altos sólidos

3.1.2.2.2 Rendimento prático

É o valor calculado estimando as perdas em função do método de aplicação.

$$Rp = Rt \times Fa$$

Onde:

RP = Rendimento prático (em m^2/ℓ)

Rt = Rendimento teórico (em m^2/ℓ)

Fa = Fator de aproveitamento (função do método de aplicação)

$$Fa = \frac{100 - \text{Perdas}}{100}$$

Método	Perdas médias	Fator de aproveitamento
Pincel	10 a 20%	0,8 a 0,9
Rolo	10 a 30%	0,7 a 0,9
Pistola convencional	30 a 50%	0,5 a 0,7
Pistola airless	10 a 30%	0,7 a 0,9

Tabela 3.2 - Fator de aproveitamento em função do método de aplicação

As perdas de tintas durante a aplicação dependem:

- Do método de aplicação;
- Das condições de aplicação como:
 - altura em relação ao solo;
 - dos ventos.
- Da geometria das peças;
- Do estado de corrosão da superfície;
- Do preparo da superfície (rugosidade);
- Da uniformidade da película (espessura);
- Do treinamento e conscientização do pintor;
- Do tipo de tinta (mono ou bicomponente).

Os fatores de aproveitamento da tabela acima, levam em consideração todas estas perdas e outras não abordadas e conduzem a resultados satisfatórios. Logicamente se alguma perda for exagerada por acidente, o fator fica menor e as estimativas falham. Mas em geral os fatores são razoáveis e servem como balizamento para as primeiras compras. Depois, cada empresa pode e deve fazer suas próprias estimativas e estabelecer seus próprios fatores, tentando sempre diminuir o consumo de tinta e os respectivos gastos financeiros.

Importante: é melhor sobrar um pouco de tinta no final da pintura do que faltar, por que sempre há oportunidade de usar a tinta que sobrou em outra estrutura ou equipamento. A falta acarreta problemas maiores por: atraso na entrega da obra, ociosidade da mão de obra até o recebimento da quantidade que faltou, dificuldade de conseguir pequenas quantidades para complemento de obra, tonalidade diferente do restante, atraso no recebimento do pagamento, etc.

Exemplo de cálculo utilizando a tabela acima:

Se a tinta será aplicada à pistola convencional e o SV = 47% e a espessura seca da película é de 25 µm, o rendimento prático será:

$$Rt = 47 \times 10 / 25 = 18,8 \text{ m}^2/\ell$$

Pistola convencional: estimam-se as perdas médias em torno de 40%, o fator fica $100 - 40 / 100 = 0,6$

Portanto multiplicando-se o rendimento teórico (18,8) por 0,6 teremos o rendimento prático = $11,28 \text{ m}^2/\ell$, que é um valor razoável.

3.1.2.2.3 Rendimento real

O rendimento real é aquele que é constatado no final da pintura, quando se mede a área pintada e verifica-se o consumo total de tinta efetivamente realizado.

3.1.2.3 Cálculo da quantidade de tinta a ser comprada

Para a compra de tintas o cálculo é elaborado levando em conta a área a ser pintada, o volume de sólidos da tinta, a espessura da película seca especificada, o método de aplicação e o número de demãos.

$$Qt = \frac{\text{Área}}{Rp} = \frac{\text{m}^2}{\text{m}^2/\ell}$$

Exemplo:

Área a ser pintada: **2.000 m²**

Tinta: sólidos por volume: **47 %** (dado obtido na respectiva ficha técnica da tinta)

Espessura da película seca por demão: **25 µm** (dado obtido na respectiva ficha técnica da tinta)

Método de aplicação: **pistola convencional**

Número de demãos: **2** (dado obtido nas tabelas de sistemas de pintura)

Cálculo:

$$Rt = 47 \times 10 / 25 = 18,8 \text{ m}^2/\ell$$

$$Rp = 18,8 \times 0,6 = 11,28 \text{ m}^2/\ell$$

$$Qt = 2.000 / 11,28 = 177,3\ell \therefore 177,3 \times 2 = 354,6\ell \therefore 354,6 / 3,6 = 98,5 \text{ galões}$$

Portanto, para pintar os 2.000 m² à pistola em duas demãos com uma tinta com sólidos por volume de 47% e espessura da película seca de 25 µm serão necessários 354,6 litros da tinta ou 98,5 galões.

3.1.2.4 Cálculo da quantidade de diluente a ser comprado

É muito comum a compra somente da tinta e o esquecimento do diluente. Quando se calcula a quantidade de tinta, automaticamente já está calculada a quantidade de diluente, pois as fichas técnicas trazem a informação do tipo de diluente indicado e a sua proporção em volume. No exemplo acima, se a ficha técnica da tinta informasse que a proporção de diluição é 15 %, haveria necessidade de adquirir 14,8 galões ou 53,28 litros do diluente indicado. Arredondando, seriam 50 litros de diluente.

Neste cálculo já estão incluídas as quantidades necessárias para diluir a tinta e para a limpeza dos equipamentos de pintura.

A grande vantagem das tintas à base de água é que não necessitam de diluentes. Para diluir estas tintas, é só utilizar a água da rede. Logicamente que se não houver água tratada por perto da

obra, neste caso, é necessário adquirir água limpa, para não contaminar as tintas.

3.1.2.5 Custo por metro quadrado na compra de tintas

Um exemplo de como a compra de tinta apenas levando em conta o preço por litro ou por galão pode ser enganosa e resultar em prejuízos.

	Tinta A	Tinta B
Preço por litro	R\$ 60,00	R\$ 64,00
Sólidos por volume (SV)	30%	40%
Espessura por demão (EPS)	25µm	25µm
Rendimento teórico	$\frac{SV \times 10}{EPS}$ 12m ² /ℓ	16m ² /ℓ
Custo por m ²	$\frac{\text{Preço por litro}}{\text{Rendimento teórico}} \frac{R\$/\ell}{m^2/\ell}$ 5 R\$/m ²	4R\$/m ²

Tabela 3.3 - Tabela comparativa de custo da pintura em função do preço da tinta líquida e do rendimento teórico

Portanto é necessário determinar o custo da pintura em termos de custo por metro quadrado, pois no exemplo acima, a tinta A parecia ser mais barata, porém, quando calculamos o preço por área pintada (R\$/m²) constatamos que é mais cara.

3.2 Posição da tinta no sistema de pintura

De acordo com a posição da tinta no sistema de pintura a tinta pode ser de fundo, ou primer, intermediária e acabamento ou esmalte.

3.2.1 Tinta de fundo ou primer

Tinta que é aplicada em primeiro lugar, tem contato direto e afinidade com o substrato metálico (o aço). Por este motivo deve conter pigmentos anticorrosivos, e ser compatível com a intermediária e/ou o acabamento.

3.2.2 Tinta intermediária

Tem a finalidade de aumentar a espessura do esquema. Não necessita de pigmentos inibidores

de corrosão, nem de coloridos, sendo, portanto de menor custo. Deve ter a mesma qualidade das demais tintas do esquema.

3.2.3 Tinta de acabamento ou esmalte

Tinta que dá acabamento ao sistema. Deve resistir ao meio ambiente e ser compatível com as demais tintas do sistema.

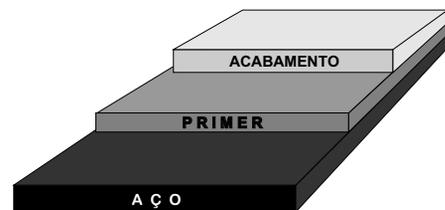


Figura 3.9 - Sistema simples, com primer e acabamento para ambientes de pouca agressividade

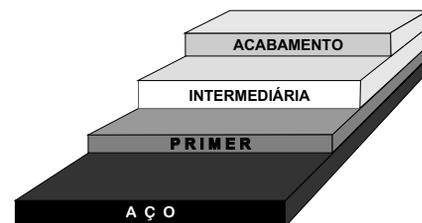


Figura 3.10 - Sistema com primer intermediária e acabamento para ambientes agressivos

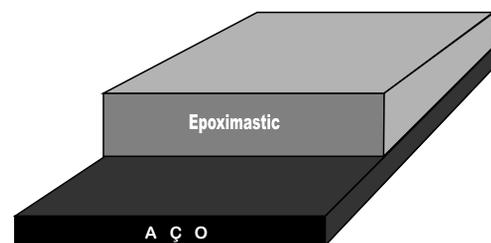
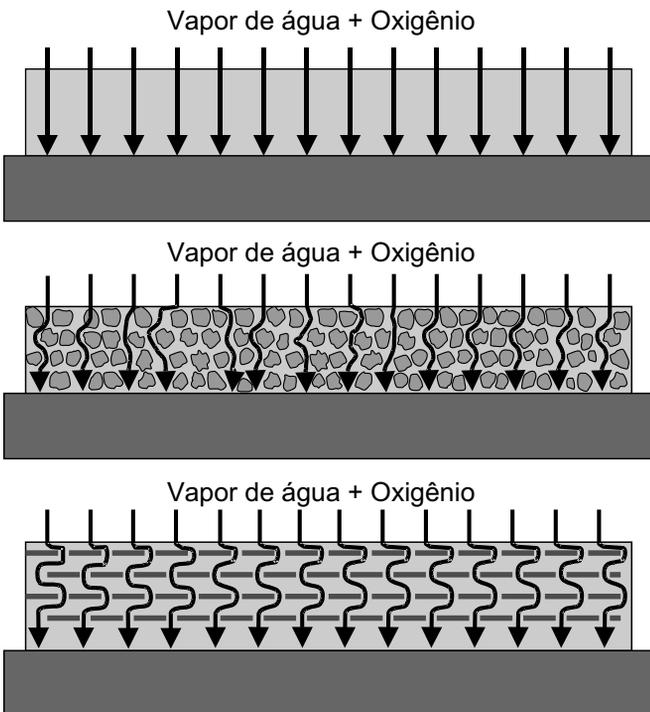


Figura 3.11 - Sistema com tinta epoximastic dupla função e demão única

A tinta epoximastic tem características de primer e acabamento, isto é, trata-se de tinta com dupla função.

Funciona bem como anticorrosiva, por que é uma tinta de alta espessura (120 a 200 µm), alta impermeabilidade por ser epóxi e conter pigmentos lamelares, de alta aderência por causa da resina e de aditivos, alta flexibilidade por causa da resina e do catalizador e que contém pigmentos anticorrosivos modernos sem metais pesados e por conter pigmentos coloridos pode ser usada como acabamento.



Notas:

1. Na primeira figura o verniz oferece apenas resistência através da resina;
2. Na segunda, os pigmentos comuns esféricos ajudam a dificultar a permeação;
3. Na terceira os pigmentos lamelares aumentam em muito a impermeabilidade.

Figura 3.12 - Comparação entre verniz e tintas com pigmentos comuns e lamelares

3.2.4 Seqüência de aplicação correta de massa epóxi

A seqüência de aplicação deve ser Primer, Massa e Acabamento. É muito comum a inversão com a aplicação da massa diretamente sobre o aço. É errado por que a massa não tem as mesmas propriedades da tinta de fundo, como aderência e proteção anticorrosiva.



Figura 3.13 - Aplicação errada

O correto é a aplicação em primeiro lugar do primer, se necessário à aplicação da massa sobre o primer e finalmente a aplicação do acabamento.



Figura 3.14 - Aplicação correta, sempre o primer em primeiro lugar

3.3 Tipos de tintas, propriedades e usos

As tintas, devido à evolução da tecnologia, podem ser classificadas pelo seu conteúdo de solventes nos seguintes tipos: **Alto VOC** e **Baixo VOC**.

A palavra VOC é uma sigla em Inglês que quer dizer: Conteúdo de Compostos Orgânicos Voláteis - Volatile Organic Compounds.

VOC significa: Quantidade em massa de solventes orgânicos presentes em um volume de tinta ou resina, expresso em g/l ou Lb/galão.

VOC é definido pela EPA (Environmental Protection Agency), um órgão do governo Americano, como todos os compostos orgânicos produzidos pelo homem, com exceção do metano, que são capazes de produzir oxidantes fotoquímicos por reação com óxidos de nitrogênio na presença da luz do sol.

As resinas normalmente possuem alta viscosidade e para serem afinadas, ou seja, para diminuir a sua viscosidade são adicionados os solventes que tem poder de solvência sobre a resina. Outra forma de afinar estas tintas é previamente emulsionando-as em água. A água não é um solvente da resina, mas um meio de dispersão. Quanto mais água é adicionada menos viscosa a tinta fica.

As novas tecnologias possibilitaram a fabricação de tintas com menor quantidade de solventes, mas que podem ser aplicadas como tintas convencionais, que possuem altos teores de solventes. São as tintas de altos sólidos (HS) e de baixo (low) VOC .

Paralelamente, as tintas à base de água (WB water based) também foram desenvolvidas e conquistaram o mercado. Hoje temos tintas WB, tão boas e em alguns casos até melhores do que as à base de solventes, com inúmeras vantagens. São tintas com VOC baixíssimos. A tendência é a produção de tintas com VOC zero chamadas de "No VOC".

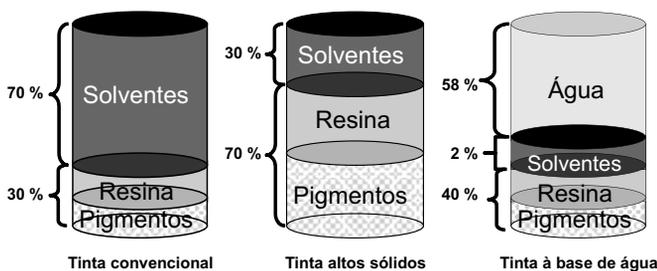


Figura 3.15 - Valores típicos de participação dos grupos de matérias primas nos três tipos de tecnologias (para efeito de ilustração)

As resinas à base de água são muito parecidas com as à base de solventes, porém, a tecnologia para emulsionar ou dispersar estas resinas em água exigiu pesquisa e desenvolvimento em aditivos e técnicas de fabricação. Não é uma substituição simples de solventes orgânicos por água. É um novo conceito de matérias primas empregadas para que as tintas pudessem conter menos solventes, ou até não conter solventes.

As vantagens destas tintas, consideradas ecologicamente corretas, são enormes, a começar pelo pintor, que fica menos exposto aos efeitos dos solventes, à empresa que corre menos risco de explosões e incêndio e ao meio ambiente, que é menos contaminado.

Outra forma de classificar as tintas é pelo tipo de resina que elas usam:

3.3.1 Tintas alquídicas

Conhecidas como Esmaltes ou Primers sintéticos, são monocomponentes, ou seja, apresentadas em uma única embalagem, de secagem ao ar. São usadas em interiores secos e abrigados, ou em exteriores normais, sem poluição. Na pintura predial (construção civil), são usadas em portas, esquadrias, janelas de madeira ou de aço.

As características marcantes das resinas alquídicas em geral são :

- Baixas resistências a :
 - umidade elevada;
 - imersão em água;
 - meios alcalinos;

- solventes fortes;
- produtos químicos.

- Baixo custo inicial.

Propiciam desempenho suficiente, desde que não fiquem expostas à umidade intensa ou em um ambiente industrial corrosivo. Não resistem à imersão em água, por serem muito permeáveis. Se destacam de concreto ou reboco novos que sofram molhamentos, por serem saponificáveis. Também não são recomendadas para pintura de galvanizados, pelo mesmo motivo. A saponificação ocorre por reação dos ácidos graxos livres presentes na resina, com o hidróxido de cálcio presente no cimento e na cal e o hidróxido de zinco presente nos produtos de corrosão do zinco.

Há tintas alquídicas modernas com baixo teor de solventes orgânicos, livres de pigmentos tóxicos, de alta espessura (75 a 100 μm), com alta resistência à corrosão e que podem ser aplicada sobre superfície metálica tratada com ferramentas mecânicas. Esta nova tinta é um primer "universal" e funciona como barreira sobre tintas convencionais que normalmente seriam atacadas pelos solventes fortes de epóxi e poliuretanos.

Alquídicos à base de água (WB Water Based)

Esmalte ou primer sintéticos à base de água para aplicação sobre metais.

Podem ser aplicadas em locais fechados sem necessidade de interdição da área ou de parada da produção por terem baixo odor.

São adequadas para ambientes rurais, urbanos ou marítimos abrigados.

3.3.2 Tintas acrílicas

São tintas monocomponentes, a base de solventes orgânicos ou de água.

3.3.2.1 Acrílicas à base de solvente

As tintas acrílicas a base de solventes orgânicos são pouco usadas, apesar de apresentarem

boas propriedades, pois possuem um teor de solvente muito alto, geralmente acima de 60%.

- São de secagem rápida;
- Têm boa resistência ao intemperismo;
- São usadas na pintura externa de tanque e armazenamento de derivados de petróleo ou de esferas de gases em plantas petroquímicas ou de refinaria de petróleo;
- São usadas na pintura externa de tubulações e de equipamentos de segurança;
- Estas tintas não são recomendadas para exposição a solventes nem para serviços de imersão em água;
- São de baixa espessura por demão (30 µm).

3.3.2.2 Acrílicas à base de água

Antigamente este tipo de tinta servia apenas para paredes de alvenaria (os famosos latex acrílicos). Hoje já existem acrílicas à base de água para superfícies de aço carbono e são excelentes, pois resistem à corrosão e ao intemperismo. Por serem à base de água, possibilitam o uso das tintas em locais onde a evaporação dos solventes poderia ser um inconveniente por contaminar os processos em indústrias de alimentos, bebidas, laticínios, produtos farmacêuticos e em hospitais. São de baixo odor e têm ótimo desempenho na pintura de estruturas, equipamentos, bombas, tubulações e exteriores de tanques.

São tintas 100% acrílicas, hidrossolúveis e são indicadas para ambientes de média agressividade e industrial moderado.

Desenvolvidas para superfícies metálicas, de madeira ou de concreto em obras novas ou para manutenção. Podem ser aplicadas na espessura seca de 60 a 100 µm.

3.3.3 Tintas epoxídicas

São bicomponentes de secagem ao ar. Os componentes são chamados de parte A e parte B. A

cura se realiza por reação química entre as resinas dos dois componentes. O componente A geralmente é à base de resina epóxi e o B, agente de cura, pode ser à base de poliamida, poliamina ou isocianato alifático.

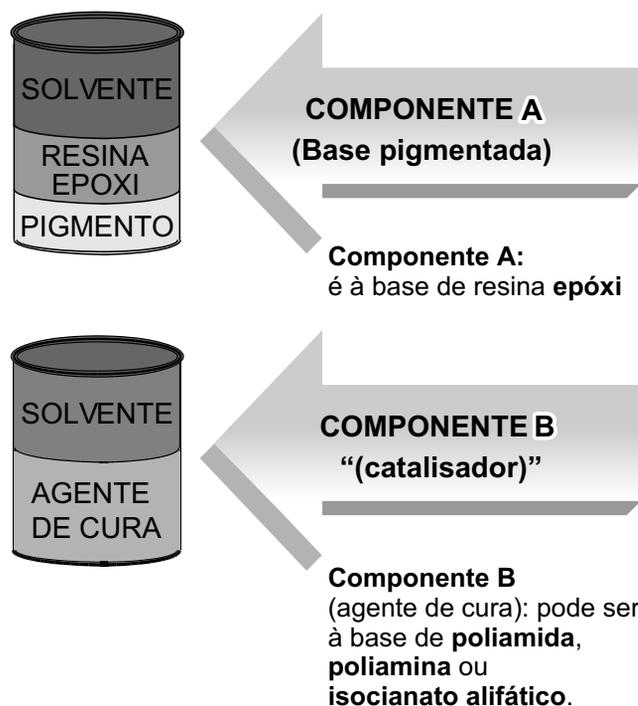


Figura 3.16 - Tintas epóxis

Tintas epóxi curadas com poliamidas

• São tintas de ótima resistência à umidade, imersão em água doce ou salgada, flexibilidade e aderência em aço carbono ou concreto, conferidas pelo agente de cura à base de resina poliamida. Entre muitas aplicações, a mais notável é a conveniência para a pintura interna de reservatórios de água potável em temperaturas até 55 °C.

Tintas epóxi curadas com poliaminas

• São tintas de excelente resistência à imersão em soluções ou vapores de produtos químicos. São recomendadas para a pintura interna de tanques, tubulações, equipamentos e estruturas sujeitas à imersões, derrames ou respingos de produtos químicos e/ou de solventes. Apesar de serem muito resistentes a diversos produtos químicos e a solventes industriais, há necessidade de consultar o Departamento de Assistência Técnica

em casos específicos de pintura interna de tanques pois a resistência depende muito do tipo de produto a ser armazenado, da sua concentração, da temperatura e das condições de trabalho do tanque.

Tintas epóxi modificadas

- São tintas de tecnologia moderna, com características das poliaminas, porém muito próximas das poliamidas. Por isto são utilizadas em substituição aos dois tipos de tintas. Os epoximastiques, tintas epoxidicas de altos sólidos e alta espessura pertencem a esta família. Quando formuladas com pigmentos lamelares, inibidores de corrosão e aditivos tensoativos, conferem proteção anticorrosiva a superfícies que não podem receber jateamento abrasivo. Por isso são chamadas de tintas “tolerantes”, ou seja que toleram tratamento por limpeza mecânica.

Tintas epóxi curadas com isocianatos

- São tintas utilizadas como primer de aderência sobre superfícies de aço galvanizado, alumínio, aço inoxidável ou outros metais não ferrosos e sobre poliéster reforçado com fibras de vidro (fiberglass).

Tintas epóxi hidrossolúveis

- São as chamadas tintas WB (water based ou water borne). As características destas tintas são : facilidade de diluição (deve-se utilizar água limpa), limpeza dos equipamentos, baixo nível de odor e emissão de solventes próximo de zero.

- São recomendadas para superfícies de concreto, ou de aço carbono em ambientes de baixa e média agressividade. São utilizadas na pintura das paredes de indústrias alimentícias, de laboratórios farmacêuticos, de hospitais, etc, quando há restrição à evaporação de solventes. Apesar de todo o desenvolvimento tecnológico conseguido, essas tintas, não são recomendadas para trabalhos de imersão.

Massas epóxi

- As massas epóxi são composições com alto teor de sólidos em volume, que devem ser utiliza-

das apropriadamente para o nivelamento de superfícies pintadas ou a serem pintadas com tintas epóxi ou poliuretanos.

- São recomendadas para o nivelamento de superfícies, para a proteção de porcas e parafusos e no preenchimento de juntas em pisos de cerâmica antiácida ou no preenchimento de frestas, em sobreposição de chapas ou vigas de aço carbono. Não devem ser aplicadas em camadas maiores do que 50 mm. Devem ser aplicadas em camadas únicas.

- Compõem com as poliuretânicas, esquemas de alto desempenho, sendo usadas como primer e/ou como intermediárias.

Tintas epóxi betuminosas

- Betuminosas epoxidicas, alcatrão de hulha epóxi, coal tar epoxy são terminologias diferentes para um mesmo produto, que são tintas fornecidas em duas embalagens, uma contendo resina poliamida ou poliamina mais alcatrão de hulha, e a outra contendo resina epóxi. São tintas que possuem a associação da alta inércia química do alcatrão de hulha com a impermeabilidade da resina epóxi.

- Têm excelente resistência à diversos ambientes corrosivos, boa flexibilidade, boa aderência e boa resistência à impactos. Quando formuladas com cargas de alta dureza, têm altíssima resistência à abrasão. Podem ser aplicadas com espessuras de 125 a 400 micrometros em uma única demão, dependendo do tipo.

- São recomendadas para a pintura de reservatórios de água industrial, bases de equipamentos e estruturas, peças imersas, submersas ou enterradas e para a pintura interna de tubulações e tanques das estações de tratamento de efluentes, em diversos tipos de indústrias.

- Não são recomendadas para a pintura interna de reservatórios de água potável.

- Estas tintas podem ser apresentadas apenas nas cores marrom ou preta, sendo esta impossibilidade de serem formuladas em cores, uma limitação.

Como são em geral, recomendadas para serviços de imersão em três demãos, é conveniente que a primeira seja preta, a segunda marrom e a terceira preta, para melhor controle da aplicação por parte do pintor e do inspetor da qualidade da pintura.

3.3.4 Tintas poliuretânicas

São bicomponentes de secagem ao ar e por enquanto no Brasil são encontradas apenas na versão à base de solventes orgânicos. Os dois componentes são:

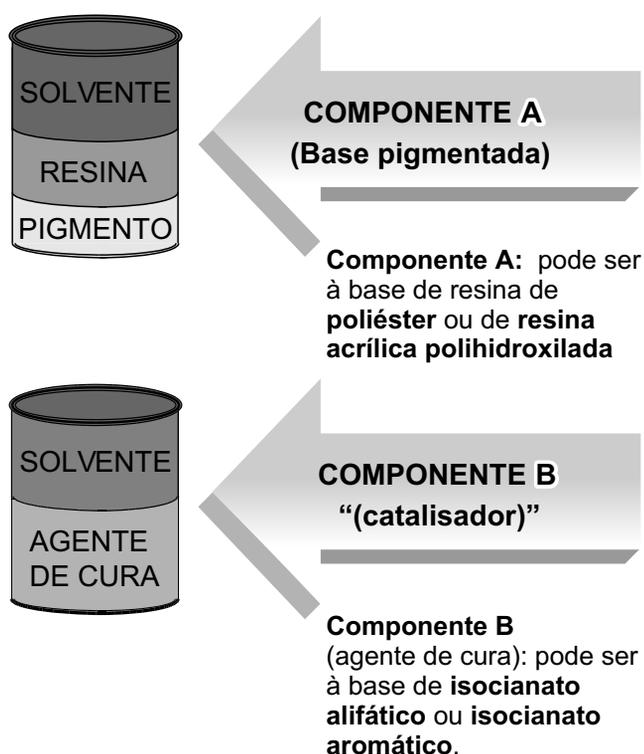


Figura 3.17 - Tintas de poliuretanos

Poliuretanos poliésteres alifáticos

- São tintas de acabamento, cujo componente A é poliéster e o componente B o isocianato alifático. São normalmente utilizadas em esquemas de pintura com primers epóxi, com as quais são perfeitamente compatíveis.

- Além de boa resistência química, têm resistência aos raios ultravioleta muito superior à das

tintas epóxi e se caracterizam pela boa retenção de cor. São de excelente resistência ao intemperismo isto é, resistência a ação danosa da radiação ultravioleta da luz solar e ao molhamento por águas de chuvas. As duas ações combinadas e mais a variação de temperatura durante dias e noites, inverno e verão, provocam a degradação da maioria dos polímeros que constituem as resinas das tintas de acabamento.

- O poliéster confere melhor resistência à fluido hidráulico (por isto são usadas em aeronaves) e podem ser limpas com solventes orgânicos do tipo do xileno quando "grafitadas" ou pichadas. São as famosas tintas resistentes à pichação.

- Pertencem a esta família os acabamentos poliuretânicos resistentes a "pichação". Este tipo de tinta pode ser limpo com solventes orgânicos do tipo do xilol sem sofrer danos. Com isto é possível remover marcas de grafitação ou pichações.

Poliuretanos acrílicos alifáticos

- Os poliuretanos acrílicos alifáticos são tintas de acabamento cujo componente A é acrílico polihidroxilado e o componente B o isocianato alifático. São também utilizadas em conjunto com primers epóxi e têm resistência aos raios ultravioleta, ainda superior à dos poliuretanos alifáticos a base de poliéster.

- Podem ser formuladas com alto teor de sólidos e apresentadas na versão brilhante e semi-brilhante. Podem também ser de alta espessura - HB (cerca de 125 micrometros por demão) ou espessura convencional (de 30 a 40 micrometros).

Poliuretanos aromáticos

- As tintas poliuretânicas formadas por poliéster com isocianato aromático apresentam boas propriedades de resistência química, rápida secagem e facilidade de lixamento. No entanto fracasam em exposições ao intemperismo. Por isso são usadas apenas em tintas para equipamento ou estruturas para interiores ou em "primers". Têm alto teor de sólidos e excelente propriedade niveladora. É usada principalmente em superfície de poliéster

reforçado com fibra de vidro (fiberglass) ou sobre aço carbono. É indicado como acabamento para superfícies que não ficam expostas ao intemperismo.

3.3.5 Etil silicato de zinco

Há dois tipos de tintas silicato inorgânico de zinco: a de etil silicato de zinco, base solventes orgânicos (álcool) e hidrossolúvel, base água.

São tintas bicomponentes de secagem ao ar para serem aplicadas somente sobre aço carbono. Os dois componentes são: o A, que pode conter o hidrolizado de silicato de etila ou o Silicato inorgânico de Sódio, Lítio ou Potássio e o B, o pó de zinco.

O teor de zinco metálico na película seca para a tinta à base de solventes orgânicos é de 81% e para o base de água é de 84%. Ambas são aplicadas na espessura seca de 75 µm.

A Hidrossolúvel pode ser aplicada em locais fechados, pois o solvente é água.

Características e propriedades de ambas:

- Dão proteção catódica ao aço carbono, pelo mesmo mecanismo da galvanização e por isso são substitutos econômicos para galvanizações;
- Evitam a progressão da corrosão sob a película, em casos de danos no sistema de pintura;
- Têm ótima resistência a solventes em geral, por isso são ideais para a pintura interna de tanques de solventes;
- Para a proteção anticorrosiva de aço carbono jateado;
- Primer de alto desempenho em ambientes de alta agressividade e em ambientes marítimos;
- Ideal para dutos, e superfícies aquecidas e que trabalhem em altas temperaturas;
- A cor cinza do aço jateado pode ser confundida com a cor natural do zinco, por isso elas podem ser pigmentadas na cor avermelhada ou cinza

esverdeada permitindo melhor visualização durante a aplicação, minimizando as falhas.

Precauções:

- Para receber tintas epóxi de alta espessura é necessário a aplicação de um “mist-coat” (camada fina aplicada com a tinta intermediária ou a de acabamento, mais diluída);
- Acabamentos poliuretanos necessitam de um “tie coat” epóxi;
- Não devem ser aplicados com umidade relativa do ar abaixo de 50 % (a cura não é adequada e o filme resulta mal formado e por vezes esfarelento);
- A película é muito porosa e quebradiça. A espessura é limitada (75 µm);
- Demão única (não aceita retoque com a mesma tinta. Para retoque, deve-se usar uma tinta epóxi rica em zinco);
- Ultrapassado o prazo para repintura deve ser lavada com água limpa e escova de nylon (não deve ser lixada);
- Não podem receber, diretamente, produtos à base de resinas saponificáveis, tais como tintas à base de óleo ou alquídicas. Não recomendados para exposição direta a ácidos ou álcalis, sem acabamento.

3.3.6 Tintas para altas temperaturas

As tintas resistentes a temperaturas elevadas, até 550 °C, logicamente devem ser elaboradas com materiais resistentes a esta faixa de temperaturas. Tecnicamente as únicas que suportam temperaturas de até 550 °C são as de silicato e as de silicone. São tintas mono ou bicomponentes.

- As resinas podem ser silicone ou silicatos
- Para temperaturas de até 230 °C, estas tintas podem oferecer diversas cores. Para temperatura acima de 230 °C, até 550 °C, somente são disponíveis tintas nas cores alumínio e pretas.

Tintas de silicone

- São tintas indicadas para substratos sujeitos a temperaturas superiores a 180 °C. Por este motivo são utilizadas na pintura de chaminés, caldeiras, tubulações quentes ou outras superfícies que trabalhem com temperatura entre 180 e 550 °C.

- Para se obter bom desempenho de pinturas que trabalham com altas temperaturas, é necessário o jateamento da superfície e a aplicação de um primer à base de etil silicato de zinco.

- Para temperaturas na faixa da ambiente até 240 °C, estas tintas não necessitam de pré cura.

Tintas de silicato

- São tintas para alta temperatura que não necessitam de pré-cura a 150 - 180 °C

- Podem ser pigmentadas com alumínio ou alumínio e zinco.

3.4 Sistemas de pintura

O termo “Especificação de Sistema de Pintura” refere-se aos cuidados tomados na pintura de uma superfície, levando em consideração todos os fatores possíveis, para que a proteção seja duradoura.

Os fatores que devem ser questionados ou levantados pelo especificador são:

- Qual é a superfície a ser protegida?
 - Aço ao carbono, aço galvanizado, alumínio, concreto, etc.
- Como é o Macro-Ambiente onde o equipamento ou estrutura será exposto ?
 - Região: quente, fria, úmida ou seca;
 - Ambiente: rural, urbano, marítimo, industrial, ou combinações entre eles.
- Como é o Micro-Ambiente ?
 - Interno ou externo, ou equipamentos, ou estruturas sujeitas a derramamentos, chuviscos ou vapores e com que frequência isto ocorre.

- Qual é a temperatura de trabalho ?

- Ambiente, fria ou aquecida.

- Qual é o regime de trabalho ?

- Contínuo ou intermitente.

- Há possibilidade de realizar limpeza por jateamento abrasivo ?

- Com areia somente em ambiente aberto, onde não há restrição à poeira.

- Com granalhas, somente em cabines fechadas, porém há limite de tamanho das peças.

- Caso negativo, há possibilidade de se retirar as peças, levar para uma oficina, jatear, aplicar a tinta de fundo (primer), recolocar e finalmente aplicar o acabamento no local?

- No caso de obras novas, as peças já devem ser enviadas para o local, jateadas e pintadas com o primer.

Observação importante: Não havendo possibilidade de se executar o jateamento abrasivo, estruturas, tubulações e equipamentos sujeitos a freqüentes derramamentos e exposição aos vapores de produtos químicos, a durabilidade da pintura será comprometida. Para estas situações é necessário e imprescindível o jateamento ao grau Sa 3. Para a maioria dos casos de pinturas aéreas, isto é, expostas à corrosão atmosférica, o grau mínimo recomendado é Sa 2½ da norma Sueca SIS 05 59 00-67 (jato ao metal quase branco).

A limpeza manual ou mecânica com escovas (St 2 e St 3 da norma Sueca), é aceita somente nos casos em que o jateamento, por alguma razão maior, não é possível. Mesmo assim, é necessário saber que o desempenho de tintas ou sistemas de pinturas nestas condições é inferior ao obtido com jateamento abrasivo ao grau mínimo Sa 2 ½.

Jateamento a úmido somente é recomendado para superfícies externas, não sujeitas à imersão.

Quanto mais se exige de uma pintura, mais rigoroso deve ser o preparo da superfície e vice-versa, ou seja, quanto melhor o reparo da superfície, mais durabilidade pode-se esperar da pintura.

- Há possibilidade de ventilar o ambiente no momento da aplicação e durante a cura das tintas?

- No caso de tintas à base de solventes orgânicos, a ventilação ou exaustão forçada é imprescindível, para a segurança das pessoas e para evitar explosões e incêndio.

- A pintura será aplicada a pincel, pistola ou rolo?

- A aplicação à pistola é a melhor opção por que se consegue maior uniformidade de acabamento e de espessura. Consegue-se inclusive maior espessura por demão;

- O pincel é usado em situações de retoques e reforço de pintura em cordões de solda, arestas vivas, quinas e frestas;

- O rolo é usado onde a aplicação à pistola não é praticável e é uma alternativa para grandes áreas. O acabamento não é tão fino quanto na aplicação à pistola, e a espessura é a metade do que se consegue à pistola. Se a espessura recomendada é 120 micrometros, com rolo serão necessárias duas demãos. Com rolo se consegue em torno de 60 micrometros e com técnica adequada pode-se chegar a 80 micrometros por demão.

Uma vez definida a tinta ou o esquema de tintas em função de todos os fatores considerados, pode-se especificar o sistema de pintura, que deve abranger:

- Preparo da superfície, grau de limpeza, perfil de rugosidade;

- Número de demãos da tinta de fundo e espessuras da película seca por demão em micrometros;

- Intervalo entre cada demão (mínimos e máximos);

- Número de demãos da tinta intermediária (se houver) ou da tinta de acabamento e espessuras por demão em micrometros;

- Intervalo entre cada demão e tempo para a cura final antes de colocar o equipamento ou a estrutura em operação.

Considerações:

- O especificador de sistemas de pintura deve sempre ter em mente que as modernas tintas devem ser ecológicas, ou seja: possuir o menor teor de solventes possível e não conter pigmentos com metais pesados, como zarcão ou cromato de zinco por exemplo. É a sua contribuição para tornar o meio ambiente mais seguro.

- O especificador deve lembrar também que sistemas para aço patinável são os mesmos que os indicados para aço carbono comum. No entanto, a durabilidade deste sistema é superior à soma das durabilidades propiciadas isoladamente pela proteção do revestimento e pela natureza aclimável do material (sinergia dos mecanismos).

Efeito sinérgico no aço patinável:

- Com adequado tratamento superficial, o aço patinável é uma base altamente favorável à aplicação de pinturas, implicando em aderências superiores às verificadas no aço comum;

- Uma eventual falha no revestimento pode gerar a formação de produtos da corrosão no metal-base, os quais, no entanto são bem menos volumosos que no caso do aço carbono comum, o que diminui o problema de destacamento da película de pintura, aumentando a durabilidade do revestimento.

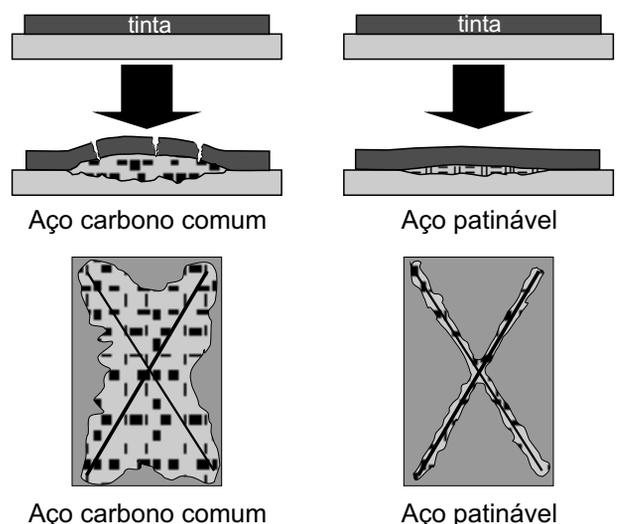


Figura 3.18 - Comparação entre aço carbono comum e aço patinável

Na figura 3.18, após um período de tempo, o aço comum produziu um volume grande de produtos de corrosão (ferrugem) e danificou a pintura. Já o aço patinável no mesmo período, produziu menor volume, a tinta está íntegra e continua a oferecer proteção contra a corrosão. A sinergia consiste em: a tinta protege o aço que por sua vez, quando alcançado pelo oxigênio e os vapores de água que permeiam a camada de tinta, produz um volume de óxidos pequeno que não chega a destruir a película. Por este motivo, mesmo formando óxidos, a durabilidade da proteção é maior do que no aço carbono.

No desenho esquemático acima se observam as progressões da corrosão em placas pintadas expostas ao intemperismo natural, em um ambiente agressivo, com o mesmo esquema de pintura. A corrosão do aço patinável, ficou circunscrita à região dos cortes.

A pintura, no aço patinável é requerida nas situações críticas anteriormente descritas; para as demais situações pode ou não ser adotada, fruto de uma concepção estética ou eventualmente, de considerações econômicas.

Chapas grossas laminadas a quente de aço patinável possuem carepa de laminação, da mesma forma que o aço carbono comum. Por isso há necessidade de jateamento das chapas para a remoção da carepa. Com o jateamento obtém-se limpeza da superfície e rugosidade suficiente para a aderência satisfatória da camada de tinta. Isto é imprescindível para a longa durabilidade que se espera de um sistema aço patinável / tinta.

A preparação de superfície para pintura do aço patinável deve ser encarada de maneira idêntica à que se dedica ao aço carbono comum. Os cuidados são os mesmos. As tintas não aderem sobre ferrugens mesmo que se trate de aço patinável, pois, juntamente com a parte coesa, há produtos de corrosão porosos e soltos na superfície. Para o aço patinável exposto ao intemperismo, os esquemas de pintura são os mesmos indicados para o aço carbono comum. A diferença é que no patinável eles duram muito mais.

3.4.1 Escolha do sistema de pintura em função da agressividade do meio ambiente

Em primeiro lugar deve-se considerar a agressividade do meio ambiente:

3.4.1.1. Agressividade natural

O especificador deve levar em conta os fatores climáticos:

Sol - radiação ultravioleta e variação de temperatura.

Chuva - água e ventos.

Umidade - vapor de água.

Poeiras - pó de areia e argila levada pelos ventos (a poeira depositada retém umidade por mais tempo na superfície, devido a higroscopicidade do material).

Névoa salina - Quando a onda oceânica se aproxima da praia, devido ao piso mais raso e por ação dos ventos, ela arrebenta e pulveriza no ar uma névoa ou "spray" de água salgada. As gotículas são levadas para o continente pelo vento e se depositam nas superfícies. Por ser um eletrólito forte, provoca intensa corrosão. Embora muitos chamem a névoa salina de "maresia", o termo é incorreto pois maresia, segundo o dicionário Aurélio é: "Cheiro característico vindo do mar, por ocasião da vazante, sobretudo em praias onde abundam algas ou onde há lama".

3.4.1.2 Agressividade não natural

Os poluentes atmosféricos mais comuns são os emitidos pelos veículos e pelas chaminés de indústrias, hospitais, hotéis e entidades que queimam combustíveis fósseis contendo pequenas quantidades de compostos de enxofre. Na queima destes combustíveis, há produção principalmente de Dióxido de Carbono, também conhecido como Gás Carbônico (CO_2), Dióxido de Enxofre, também conhecido como Anidrido Sulfuroso (SO_2), Trióxido de Enxofre, também conhecido como Anidrido Sulfúrico (SO_3) e Vapor de água (H_2O). Os proble-

mas maiores são causados pelo SO₂, SO₃ e pelo vapor de água, que produzem ácido sulfúrico e tornam a atmosfera ácida.

O CO₂ é um gás natural, mas em ambientes Urbanos e Industriais sua presença é aumentada e os problemas de corrosão resultantes também.

A fuligem é um pó preto resultante da queima de combustíveis fósseis, que se deposita sobre as superfícies e muitas vezes tem caráter ácido e é higroscópica.

3.4.1.3 Classificação dos ambientes

Podemos classificar os ambientes em:

- Rural (baixos teores de poluentes naturais)
 - Sol, chuva, umidade e poeiras do solo.
- Urbano (depende da intensidade do tráfego e do porte da cidade)
 - Sol, chuva, umidade, fuligem e SO₂.

- Industrial
 - Sol, chuva, umidade, fuligem, poeiras de produtos químicos, SO₂, NO, NO₂, CO₂ e H₂S.

- Marítimo
 - Sol, chuva, umidade, poeiras de areia e névoa salina (predominância de cloreto de sódio NaCl).

3.4.2 Preparo de superfície e espessura em função do meio

O especificador deve fixar o grau de limpeza da superfície, a tinta e a espessura do sistema de pintura, em função da agressividade do ambiente.

Quanto melhor o preparo da superfície e quanto maior a espessura, mais duradoura será a proteção que o sistema de pintura oferecerá ao aço. Nunca pode ser esquecida a relação custo/benefício de um sistema de pintura. O bom preparo de superfície custa mais, porém a pintura durará mais.

Ambiente	Rural	Urbano	Industrial ou Marítimo	Peças Enterradas	Imersão
Preparo de superfície mínimo	Sa 2 1/2	Sa 2 1/2	Sa 2 1/2	Sa 2 1/2	Sa 3
Faixa de espessura (μm)	80 a 125	100 a 200	240 a 300	400 a 500	375 a 500

Tabela 3.4 - Preparo de superfície e espessuras da película recomendadas para jateamento abrasivo

Ambiente	Rural	Urbano	Industrial ou Marítimo	Peças Enterradas	Imersão
Preparo de superfície mínimo	St 3	St 3	St 3	-	-
Faixa de espessura (μm)	125 a 175	150 a 250	250 a 375	-	-

Nota: Utilizar a limpeza mecânica, no padrão de limpeza St 3, somente no grau C de enferrujamento, onde não existe mais carepa de laminação presente na superfície da peça.

Tabela 3.5 - Preparo de superfície e espessuras da película recomendadas para limpeza mecânica

Os sistemas de pintura apresentados a seguir e suas expectativas de durabilidade, são baseados no conhecimento e experiência prática dos autores. Devem ser entendidos como uma recomendação do CBCA - Centro Brasileiro da Construção em Aço, sendo identificados pela sigla CBCA, seguido de um número sequencial (Exemplo: Sistema CBCA-10).

3.4.3 Sistemas de pintura para aço carbono e aço patinável

3.4.3.1 Sistemas para ambientes rurais

Sistema	Tipo	Tinta	N demãos	EPS p/demão (µm)	EPS Total (µm)	Observações
CBCA-01	Fundo/ Acabamento	Alquídico DF	1	75	75	Sistema de custo baixo por galão Expectativa de durabilidade (3 a 6 anos) Secagem rápida
CBCA-02	Fundo	Primer Alquídico	1	40	120	Sistema de custo médio por galão Expectativa de durabilidade (4 a 7 anos)
	Acabamento	Esmalte Alquídico	2	40		
CBCA-03	Fundo	Primer Epóxi	1	40	120	Sistema de custo médio por galão Expectativa de durabilidade (5 a 8 anos)
	Acabamento	Esmalte Alquídico	2	40		
CBCA-04	Fundo	Primer Epóxi	1	40	120	Sistema de custo médio por galão Expectativa de durabilidade (6 a 9 anos) Calcina (muda de cor e de brilho)
	Acabamento	Esmalte Epóxi	2	40		
CBCA-05	Fundo/ Acabamento	Epoximastic cores	1	100	100	Sistema de custo médio por galão Expectativa de durabilidade (6 a 9 anos) Calcina (muda de cor e de brilho)
CBCA-06	Fundo	Primer Acrílico WB	1	50	130	Sistema de custo médio por galão Expectativa de durabilidade (5 a 9 anos) Tem boa resistência à calcinação
	Acabamento	Esmalte Acrílico WB	2	40		
CBCA-07	Fundo/ Acabamento	Poliuretano DF	1	100	100	Sistema de custo alto por galão Expectativa de durabilidade (7 a 10 anos) Tem boa resistência à calcinação

3.4.3.2 Sistemas para ambientes urbanos

Sistema	Tipo	Tinta	N demãos	EPS p/demão (µm)	EPS Total (µm)	Observações
CBCA-08	Fundo	Primer Alquídico	2	40	160	Sistema de baixo custo por galão Expectativa de durabilidade (4 a 7 anos)
	Acabamento	Esmalte Alquídico	2	40		
CBCA-09	Fundo	Primer Epóxi	2	40	160	Sistema de médio custo por galão Expectativa de durabilidade (5 a 8 anos)
	Acabamento	Esmalte Alquídico	2	40		
CBCA-10	Fundo/ Acabamento	Epoximastic cores	1	120	120	Sistema de custo médio por galão Expectativa de durabilidade (6 a 9 anos) Calcina (muda de cor e de brilho)
CBCA-11	Fundo	Primer Acrílico WB	2	50	180	Sistema de custo médio por galão Expectativa de durabilidade (6 a 10 anos) Tem boa resistência à calcinação
	Acabamento	Esmalte Acrílico WB	2	40		
CBCA-12	Fundo/ Acabamento	Poliuretano DF	2	70	140	Sistema de custo alto por galão Expectativa de durabilidade (7 a 10 anos) Tem boa resistência à calcinação

3.4.3.3 Sistemas para ambientes industriais

Sistema	Tipo	Tinta	N demãos	EPS p/demão (µm)	EPS Total (µm)	Observações
CBCA-13	Fundo/ Acabamento	Epoximastic cores	2	125	250	Sistema de custo médio por galão Expectativa de durabilidade (6 a 9 anos) Calcina (muda de cor e de brilho)
CBCA-14	Fundo	Primer Epóxi	1	75	275	Sistema de custo médio por galão Expectativa de durabilidade (6 a 9 anos) Calcina, porém é excelente para superfícies abrigadas
	Acabamento	Esmalte Epóxi	2	100		
CBCA-15	Fundo	Primer Epóxi	1	125	275	Sistema de custo alto por galão Expectativa de durabilidade (7 a 10 anos) Tem boa resistência à calcinação
	Acabamento	Esmalte Poliuretano	2	75		

3.4.3.4 Sistemas para ambientes marítimos

Sistema	Tipo	Tinta	N demãos	EPS p/demão (µm)	EPS Total (µm)	Observações
CBCA-16	Fundo	Primer etil silicato de zinco	1	75	265	Sistema de custo alto por galão Expectativa de durabilidade (8 a 12 anos) Tem excelente resistência ao ambiente marítimo Tem boa resistência à calcinação
	Intermediária	Tinta epóxi-poliâmida (tie-coat)	1	40		
	Acabamento	Esmalte Poliuretano	2	75		
CBCA-17	Fundo	Primer Epóxi rico em zinco	1	75	275	Sistema de custo alto por galão Expectativa de durabilidade (7 a 11 anos) Tem excelente resistência ao ambiente marítimo Tem boa resistência à calcinação
	Intermediária	Esmalte Epóxi	1	125		
	Acabamento	Esmalte Poliuretano	1	75		
CBCA-18	Fundo	Primer Epóxi	2	125	300	Sistema de custo alto por galão Expectativa de durabilidade (6 a 10 anos) Tem boa resistência à calcinação
	Acabamento	Esmalte Poliuretano	1	50		

3.4.4 Sistemas para aço zincado (galvanizado)

3.4.4.1 Sistemas para ambientes rurais

Sistema	Tipo	Tinta	N demãos	EPS p/demão (µm)	EPS Total (µm)	Observações
CBCA-19	Fundo	Primer epóxi-isocianato	1	25	105	Sistema de custo médio por galão Expectativa de durabilidade (7 a 10 anos) Calcina, porém é excelente para superfícies abrigadas
	Acabamento	Esmalte Epóxi	2	40		
CBCA-20	Fundo	Primer epóxi-isocianato	1	25	105	Sistema de alto custo por galão Expectativa de durabilidade (7 a 10 anos) Tem boa resistência à calcinação
	Acabamento	Esmalte poliuretano	2	40		
CBCA-21	Fundo	Primer Acrílico WB	1	50	130	Sistema de custo médio por galão Expectativa de durabilidade (7 a 10 anos) Tem boa resistência à calcinação
	Acabamento	Esmalte Acrílico	2	40		
CBCA-22	Fundo/ Acabamento	Poliuretano DF para galvanizados	2	40	80	Sistema de custo alto por galão Expectativa de durabilidade (7 a 10 anos) Tem boa resistência à calcinação

3.4.4.2 Sistemas para ambientes urbanos (galvanizado novo)

Sistema	Tipo	Tinta	N demãos	EPS p/demão (µm)	EPS Total (µm)	Observações
CBCA-23	Fundo	Primer epóxi-isocianato	1	25	175	Sistema de custo médio por galão Expectativa de durabilidade (7 a 10 anos) Calcina, porém é excelente para superfícies abrigadas
	Acabamento	Esmalte Epóxi	2	75		
CBCA-24	Fundo	Primer epóxi-isocianato	1	25	175	Sistema de alto custo por galão Expectativa de durabilidade (7 a 10 anos) Tem boa resistência à calcinação
	Acabamento	Esmalte poliuretano	2	75		
CBCA-25	Fundo	Primer Acrílico WB	2	50	180	Sistema de custo médio por galão Expectativa de durabilidade (5 a 9 anos) Tem boa resistência à calcinação
	Acabamento	Esmalte Acrílico WB	2	40		
CBCA-26	Fundo/ Acabamento	Poliuretano DF para galvanizados	3	40	120	Sistema de custo alto por galão Expectativa de durabilidade (7 a 10 anos) Tem boa resistência à calcinação

3.4.4.3 Sistemas para ambientes urbanos (galvanizado envelhecido)

Sistema	Tipo	Tinta	N demãos	EPS p/demão (µm)	EPS Total (µm)	Observações
CBCA-27	Fundo	Epoximastic alumínio	1	120	200	Sistema de custo alto por galão Expectativa de durabilidade (6 a 10 anos) Tem boa resistência à calcinação
	Acabamento	Esmalte poliuretano	2	40		

3.4.4.4 Sistemas para ambientes industriais (galvanizado novo)

Sistema	Tipo	Tinta	N demãos	EPS p/demão (μm)	EPS Total (μm)	Observações
CBCA-28	Fundo	Primer epóxi-isocianato	1	25	265	Sistema de custo médio por galão Expectativa de durabilidade (7 a 10 anos) Calcina, porém é excelente para
	Acabamento	Esmalte epóxi	2	120		
CBCA-29	Fundo	Primer epóxi-isocianato	1	25	225	Sistema de custo alto por galão Expectativa de durabilidade (5 a 9 anos) Tem boa resistência à calcinação
	Intermediária	Esmalte Epóxi	1	125		
	Acabamento	Esmalte poliuretano	1	75		

3.4.4.5 Sistemas para ambientes industriais (galvanizado envelhecido)

Sistema	Tipo	Tinta	N demãos	EPS p/demão (μm)	EPS Total (μm)	Observações
CBCA-30	Fundo	Epoximastic alumínio	2	100	280	Sistema de custo alto por galão Expectativa de durabilidade (7 a 10 anos) Tem boa resistência à calcinação
	Acabamento	Esmalte poliuretano	1	80		

3.4.4.6 Sistemas para ambientes marítimos (galvanizado novo)

Sistema	Tipo	Tinta	N demãos	EPS p/demão (μm)	EPS Total (μm)	Observações
CBCA-31	Fundo	Primer epóxi-isocianato	1	25	275	Sistema de custo médio por galão Expectativa de durabilidade (7 a 10 anos) Calcina, porém é excelente para superfícies abrigadas
	Acabamento	Esmalte epóxi	2	125		
CBCA-32	Fundo	Primer epóxi-isocianato	1	25	230	Sistema de custo alto por galão Expectativa de durabilidade (5 a 9 anos) Tem boa resistência à calcinação
	Interm.	Esmalte Epóxi	1	125		
	Acabamento	Esmalte poliuretano	1	80		

3.4.4.7 Sistemas para ambientes marítimos (galvanizado envelhecido)

Sistema	Tipo	Tinta	N demãos	EPS p/demão (μm)	EPS Total (μm)	Observações
CBCA-33	Fundo	Epoximastic zinco-alumínio	2	100	280	Sistema de custo alto por galão Expectativa de durabilidade (5 a 9 anos) Tem boa resistência à calcinação
	Acabamento	Esmalte poliuretano	1	80		

3.4.5 Sistemas especiais de pintura para aço carbono e aço patinável

3.4.5.1 Sistemas para peças enterradas ou imersas em água bruta ou em efluentes e esgoto

Preparação de superfície: mínimo Sa 3 da Norma SIS 05 59 00 67

Sistema	Tipo	Tinta	N demãos	EPS p/demão (µm)	EPS Total (µm)	Observações
CBCA-34	Fundo	Alcatrão de Hulha Epóxi (preta)	1	150	450	Sistema de custo alto por galão Expectativa de durabilidade (7 a 11 anos) Tem boa resistência ao contato com água à temperatura de até 55 °C Este sistema não é indicado para água potável
	Intermediária	Alcatrão de Hulha Epóxi (marrom)	1	150		
	Acabamento	Alcatrão de Hulha Epóxi (preta)	1	150		

Nota: A tinta de fundo e a de acabamento é a mesma, porém, devem ser de cores diferentes para facilitar o controle da aplicação e a fiscalização.

3.4.5.2 Sistemas para pintura interna de tanques e peças em contato com água potável

Preparação de superfície: mínimo Sa 3 da Norma SIS 05 59 00 67

Sistema	Tipo	Tinta	N demãos	EPS p/demão (µm)	EPS Total (µm)	Observações
CBCA-35	Fundo	Tinta epóxi poliamida (cinza)	1	200	400	Sistema de custo alto por galão Expectativa de durabilidade (8 a 12 anos) Tem boa resistência ao contato com água à temperatura de até 55 °C
	Acabamento	Tinta epóxi poliamida (branca)	1	200		

Nota: A tinta de fundo e a de acabamento é a mesma, porém, devem ser de cores diferentes para facilitar o controle da aplicação e a fiscalização. As tintas devem atender as exigências da Resolução no 105 da ANVISA (Ministério da Saúde) para contato com água potável e com produtos alimentícios aquosos.

3.4.6 Sistema especial de pintura para peças em aço carbono e aço patinável que serão cobertas por alvenaria

3.4.6.1 Sistemas para peças que serão cobertas por alvenaria

Preparação de superfície: mínimo Sa 2 1/2 da Norma SIS 05 59 00 67

Sistema	Tipo	Tinta	N demãos	EPS p/demão (µm)	EPS Total (µm)	Observações
CBCA-36	Fundo	Primer epóxi poliamida	1	150	150	Sistema de custo médio por galão Expectativa de durabilidade: Se não houver infiltração de água e como a tinta estará protegida, é indefinida

Nota: É importante garantir que não haja infiltração de água ou umidade no contato da tinta com a alvenaria. Se houver dúvida na ocorrência de infiltração, é melhor especificar o Sistema CBCA-34.

Observações gerais para os sistemas:

DF = dupla função (primer e acabamento, pois possui pigmentos anticorrosivos e coloridos)

EPS = espessura da película seca em micrometros (m)

WB = tinta à base de água (Water Based ou Water Borne)

- A escolha de cada um dos sistemas acima depende muito da obra, da disponibilidade de recursos financeiros e da necessidade de cuidados com o meio ambiente.

A expectativa de durabilidade estimada para os sistemas depende não só do tipo de tinta mas também do fabricante, pois para um mesmo tipo pode haver desempenhos diferenciados. Os tempos entre parêntesis são estimados até a primeira manutenção e não incluem frestas, cantos e arestas vivas, cordões de solda e empoçamento de água sobre a pintura.

- Os tempos de expectativa de durabilidade nos sistemas acima são válidos quando a Manutenção Preventiva é realizada pelo menos uma vez por ano. Como Manutenção Preventiva entende-se Retoques feitos com pincel em cortes, riscos, escoriações, ocorridas durante o transporte e a montagem, ou falhas de aplicação como bolhas, furos, fissuras, trincas ou espessuras mais baixas, ocorridas durante a pintura ou logo após a pintura.

O procedimento correto, para executar retoques é lixar as regiões com problemas até atingir o metal e recompor o sistema com o primer e o acabamento ou com a intermediária, se houver.

- A durabilidade estimada serve para comparar o desempenho de cada sistema de pintura. A real durabilidade, logicamente depende do preparo correto da superfície, das técnicas de aplicação das tintas e do controle das espessuras e das condições climáticas no momento da aplicação e cura das tintas.

- Na escolha dos produtos para compor o sistema de pintura, deve-se observar as espessu-

ras das tintas individuais, que podem variar, mas a espessura total deve ficar dentro da faixa apresentada na Tabela de preparo e espessura.

- A calcinação não diminui significativamente a proteção anticorrosiva da pintura, mas afeta a estética com a perda de brilho e de cor.

- Para o esmalte poliuretano, espessuras menores do que 50 micrometros em geral, tratam-se de tintas brilhantes e para espessuras maiores do que 75 micrometros geralmente são semibrilhantes

- Convenciona-se que galvanizado novo é aquele recém fabricado até com corrosão branca. Para esta situação é indicada em todos os sistemas a limpeza mecânica com lixa grana 100 ou 120 ou scotch brite e tinta de aderência Epóxi-isocianato.

- Quando o galvanizado já está apresentando além da corrosão branca a ferrugem marrom avermelhada ou vermelha escura ou preta, é indicada em todos os sistemas a limpeza mecânica com escovas rotativas ao grau St 3 da norma Sueca e a tinta Epoximastic que é um “surface tolerant”. Esta situação exige uma tinta que tenha melhor tolerância ao resíduo de ferrugem fortemente aderido que não foi possível remover com as escovas. Na maioria dos casos, trata-se de telhados ou perfis de torres, que não podem ser jateados.

3.5 Manutenção

Na manutenção, como a própria palavra indica, deveriam ser mantidas as mesmas tintas do esquema original. Portanto nos trabalhos periódicos de retoques, o sistema inicial deve, na medida do possível, ser recomposto.

A manutenção da pintura consiste de trabalhos de retoques ou repinturas sobre tintas já existentes. Portanto estas tintas envelhecidas, deverão estar em boas condições de integridade, sem destacamentos ou desgastes, para poderem receber as novas tintas. Pode ser necessária até mesmo a substituição total da pintura, isto é, a remoção da pintura antiga, se ela estiver comprometida. É importante também que os sistemas novos e os antigos sejam compatíveis entre si.

Na execução da pintura de manutenção é imprescindível lembrar alguns conceitos:

• Limpeza da superfície

Poeiras, oleosidades, tintas soltas ou má aderidas e umidade são os contaminantes mais comuns que prejudicam a aderência das tintas. O melhor método de limpeza é a lavagem com água e tensoativos, para eliminar o pó, as gorduras e os sais da superfície.

• Lixamento

O lixamento remove camadas superficiais da tinta antiga, que podem estar comprometidas e com baixa coesão. O abrasivo da lixa provoca sulcos e riscos na superfície, suficientes para possibilitar a aderência das tintas novas sobre as antigas. No caso de calcinação, o lixamento elimina o material pulverulento que se forma sobre a pintura. A limpeza com mantas não tecidas do tipo Scotch Brite também pode ser usada em substituição às lixas, em alguns casos, com vantagens.

• Cores

A pintura antiga, depois de sofrer a ação do intemperismo, muda de cor e eventualmente de brilho. A cor da tinta nova dificilmente vai “bater”, isto é coincidir com a antiga depois de aplicada em forma de retoque. Por isso é conveniente que se pinte o painel ou a peça toda, para evitar diferenças significativas na cor das partes que sofreram manutenção.

O item mais importante a ser observado na manutenção de pinturas é a limpeza das superfícies com água e produtos tensoativos, pois a contaminação por compostos oleosos, freqüentemente causa problemas significativos de destacamentos das tintas.

Procedimento geral para trabalhos de repintura:

- Lavar, esfregando a superfície, com tensoativo adequado
- Enxaguar com água limpa,
- Lixar com lixa 100 ou 120, ou com manta não tecida do tipo Scotch brite grosso, para remover a ferrugem (se houver) ou para melhorar a aderência da tinta de fundo (primer),

• Aplicar a tinta de fundo original do sistema de pintura ou outra equivalente,

• Aplicar uma ou duas demãos do acabamento na região afetada ou em toda a superfície.

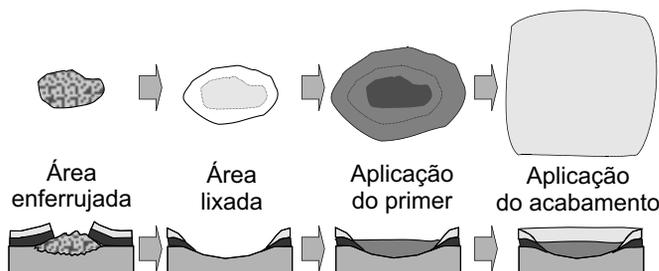


Figura 3.19 - Procedimento para repintura

É importante conhecer a natureza da tinta de acabamento original, para evitar incompatibilidades.

Quando se trata de tinta de mesma natureza, geralmente não há grandes dificuldades de compatibilidade. No entanto se as naturezas químicas das tintas antigas e das que serão aplicadas forem diferentes, há necessidade de se conhecer o tipo de tinta e se possível, realizar testes de compatibilidade.

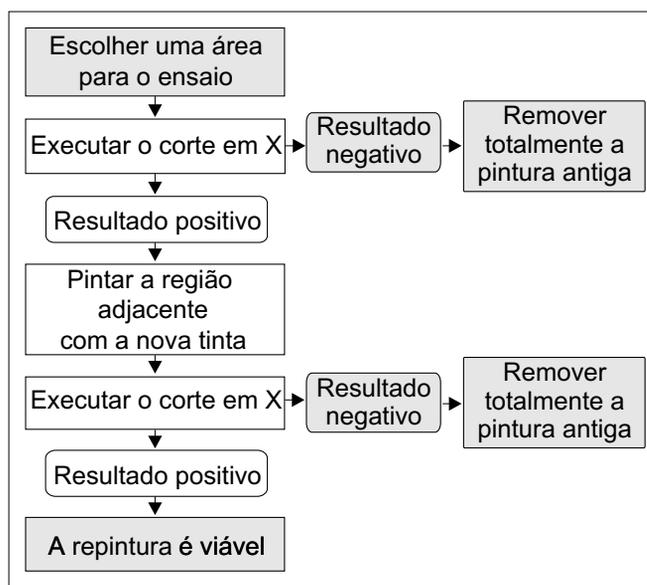


Tabela 3.6 - Teste de verificação da compatibilidade entre tintas

Tinta a ser aplicada	Tinta existente ou primer
<i>Monocomponente sobre Monocomponente</i>	
Alquídica	Alquídica
Alquídica	Acrílica
<i>Monocomponente sobre Bicomponente</i>	
Alquídica	Epóxi
Acrílica	Epóxi
<i>Bicomponente sobre Bicomponente</i>	
Epóxi	Epóxi
Poliuretano	Epóxi
Epóxi	Poliuretano
Poliuretano	Poliuretano

Tabela 3.7 - Compatibilidade entre tintas

Notas: Esta classificação é genérica e serve para pinturas novas. Assim, por exemplo no caso de uma tinta epóxi ser aplicada sobre uma alquídica, pode-se esperar uma incompatibilidade, mas se a tinta alquídica já estiver aplicada há alguns anos (2 a 3 anos), se encontrar íntegra e em bom estado de conservação, há grande chance de uma tinta epoximástica, ou seja, uma tinta epóxi de altos sólidos e alta espessura ser aplicada sem problemas, já que se trata de uma tinta com baixo teor de solventes. Esta prática é muito comum na manutenção industrial, mas requer testes de compatibilidade como os apresentados abaixo.

Testes práticos para reconhecer a natureza das tintas

Solventes:

O teste com solventes podem indicar a natureza química das tintas. Assim, por exemplo, se esfregarmos um pano embebido em xileno sobre as películas, poderemos ter as seguintes reações:

Reação (conseqüência)	Tinta presumível
Solubilização total (no pano restará um "caldo da tinta")	Lacas do tipo: Acrílica, Vinílica, Nitrocelulose, etc.
Leve amolecimento e entumescimento,	Alquídica ou tintas à óleo
Leve amolecimento	Epóxi ou Poliuretano recém aplicadas
Nenhum amolecimento	Epóxi ou Poliuretano perfeitamente curadas

Tabela 3.8 - Ação dos solventes nas tintas

Outro teste prático que se costuma fazer é esfregar o pano embebido em diluente de uma tinta epóxi por dez minutos sobre a tinta que se quer saber a natureza. Se houver amolecimentos e destacamentos, há grande chance de se tratar de uma tinta alquídica.

Pirólise:

A queima (pirólise) de raspas da tinta em um tubo de ensaio de vidro também pode indicar caminhos para a identificação da tinta :

Procedimento: Raspar a tinta a ser testada em quantidade suficiente para encher ¼ do tubo de ensaio. Com auxílio de uma bagueta de vidro empurrar a tinta para o fundo e queimar em uma chama de gás (bico de Bunsen ou de fogão à gás). Na queima haverá a formação de um caldo escuro, que deixamos escorrer até próximo da boca do tubo. Deixar o tubo em repouso por cerca de vinte minutos e avaliar: Se no lugar do caldo surgirem cristais com formato de agulhas, trata-se provavelmente de compostos à base de anidrido ftálico, que poderiam compor uma resina alquídica ftálica ou algum plastificante ftálico como DOP, DIBP, DBP, etc. Este teste associado ao anterior do solvente pode indicar o tipo de tinta.

Teste de compatibilidade entre tintas para repintura

	Pirólise (cristais)	Observações
Alquídica	Sim	
Acrílica	Não	
Epóxi	Não(*)	(*) Epóxi: plastificado com compostos ftálicos pode apresentar cristais
Poliuretano	Não(*)	(*) Poliuretano: com componente A poliéster ftálico pode apresentar cristais. Este poliuretano é de qualidade inferior aos com poliéster alifático ou com acrílico polihidroxilado).

Tabela 3.9 - Resultado da pirólise em função do tipo de tinta

Passo 1- Avaliação geral

Inspeção visual :

- Verificar a aparência quanto a: destacamentos, manchas, empolamento, calcinação e corrosão

Obs.: A avaliação dos defeitos deve ser feita com bom senso e a área com corrosão e bolhas é quem irá decidir se poderá ou não haver repintura. No caso de existir apenas calcinação sem comprometimento da espessura, a avaliação poderá ser

considerada positiva e a superfície deverá ser lavada com água e um detergente biodegradável, esfregando com manta não tecida do tipo Scotch Brite.

Passo 2 - Medidas de espessura

Escolha uma área de aproximadamente 30 x 20 cm².

- Usando aparelho magnético tomar pelo menos 10 medidas na área considerada.

Passo 3 - Teste de aderência, ABNT NBR 11003 na tinta envelhecida

- Corte em X : executar os cortes segundo a norma.

A norma não julga se o resultado da aderência é bom ou ruim, apenas padroniza o método para sua execução. O especificador e o fornecedor das tintas deverão negociar os limites para aceitação. No entanto, um critério adotado para o recebimento de uma pintura após execução dos testes poderá ser o seguinte:

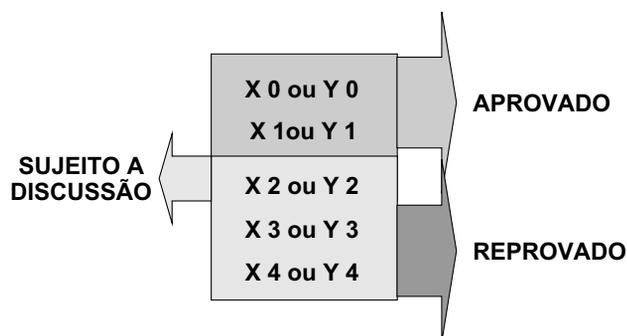


Figura 3.20 - Interpretação de resultados da Norma ABNT NBR 11003

Se reprovar, a repintura não é viável. Se aprovar, prosseguir para o Passo 4.

Passo 4 - Aplicação da nova tinta

- Lixar superficialmente uma área 30 x 20 cm² com lixa 120.

- Remover a poeira com escovas ou pano seco.

- Aplicar a nova tinta.

- Durante a aplicação observar se a tinta arrepia, levanta, enruga, racha ou escorre.

- Esperar 7 dias (cura total) da última demão e verificar: se a tinta arrepia, levanta, enruga ou racha.

Passo 5 - Novo teste de aderência, ABNT NBR 11003 no sistema

- Executar os cortes segundo a norma e avaliar.

- Se o resultado for negativo, isto é, destacamento igual ou acima de X3 ou Y3, a aderência não é satisfatória e o sistema de repintura não é viável. Há necessidade de remover todo o sistema antigo para aplicar o novo. Pode ser muito trabalhoso e muito custoso, mas é a única saída para o problema. Possivelmente o solvente da nova tinta permeou a camada da antiga, que estava bem aderida (resultado positivo no teste de aderência do passo 3), e afetou as ligações da tinta com a base metálica, resultando no destacamento.

- Se o resultado for positivo, isto é a aderência estiver satisfatória, a nova tinta poderá ser aplicada sobre a antiga pois não há problema de incompatibilidade. A repintura neste caso é viável.

Capítulo 4

Noções de corrosão

4.1 Noções de corrosão

4.1.1 Conceitos básicos

Corrosão pode ser definida como sendo a deterioração que ocorre quando um material (normalmente um metal) reage com seu ambiente, levando à perda de suas propriedades.

O processo de corrosão pode ser visto como sendo o inverso da metalurgia extrativa. No processo siderúrgico, muita energia é gasta para transformar óxido de ferro em um produto final. O minério de ferro entra no alto-forno tanto na forma sinterizada quanto bitolada, e em conjunto com o coque metalúrgico, fundentes e ar insuflado, forma uma liga impura conhecida como ferro-gusa. O ferro-gusa é processado, em seguida, na aciaria, onde os teores de certos elementos químicos são reduzidos (como carbono, o silício, o fósforo e o enxofre) e outros elementos são adicionados, para conferir certas propriedades ao aço. A liga é, em seguida, conformada em chapas, perfis, etc. A corrosão é o processo inverso ao da siderurgia, ou seja, o ferro retorna de forma espontânea aos óxidos que lhe deram origem.

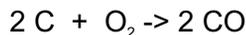


Figura 4.1 - Esquema de produção do aço a partir do óxido de ferro e o retorno ao óxido de ferro através da corrosão

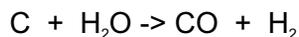
Reações:

Siderurgia

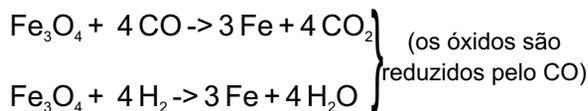
As reações básicas que ocorrem no alto-forno são:



(o coque reage com o oxigênio do ar insuflado)



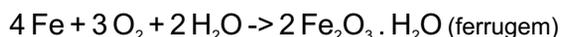
(o vapor de água reage com o coque)



O ferro-gusa líquido é retirado da parte inferior do alto-forno.

Corrosão

O processo de corrosão por outro lado, leva o metal à sua forma oxidada:



Como se observa na reação de corrosão, é imprescindível a presença de oxigênio e água. O oxigênio está no ar atmosférico (constituído, aproximadamente, por oxigênio (20%), nitrogênio (79%) e quantidades ligeiramente variáveis de vapor d'água, dióxido de carbono, argônio e outros gases nobres) e a água pode estar na forma líquida ou de vapor. A simples umidade relativa do ar fornece a água necessária para que a reação se realize.

Pode-se dizer que os alimentos básicos da corrosão são: o oxigênio e a água.

4.1.2 Classificação da corrosão

A corrosão pode ser classificada de diversas formas. Para não estender o assunto mas apresentar uma noção do que é corrosão, especialmente para estruturas e equipamentos em aço, vamos classificar os processos corrosivos da seguinte maneira:

4.1.2.1 Corrosão generalizada

Corrosão uniforme

Corrosão uniforme é aquela que ocorre quando o aço está exposto ao ar atmosférico e sofre a ação da umidade e do oxigênio. A corrosão desta maneira acontece em toda a extensão da superfície com perda uniforme da espessura com formação

de escamas de ferrugem. Pode ser chamada também de corrosão generalizada, mas segundo o Prof. Vicente Gentil este termo não é corretamente aplicado pois pode-se ter também corrosão por pites ou alveolar de maneira generalizada por toda a superfície metálica.

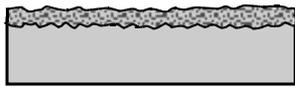


Figura 4.2 - Corrosão uniforme

4.1.2.2 Corrosão localizada

Corrosão por placas

Corrosão por placas é aquela em que a ocorrência se manifesta em regiões da superfície metálica e não em toda a sua extensão, formando placas com escavações.



Figura 4.3 - Corrosão por placas

Corrosão alveolar

A corrosão alveolar ocorre produzindo sulcos ou escavações semelhantes à alvéolos, apresentando fundo arredondado e profundidade geralmente menor do que o seu diâmetro.



Figura 4.4 - Corrosão alveolar

Corrosão por pites ou puntiformes

A corrosão por pites ou também chamada de puntiforme ocorre em pontos ou em pequenas áreas localizadas na superfície metálica produzindo cavidades que apresentam profundidade geralmente maior do que seu diâmetro. Estas cavidades são chamadas em inglês de "pitting" e traduzidas para o português ficaram pites. O problema maior deste tipo de corrosão é que dependendo da espessura da chapa, podem apresentar perfurações que atravessam a espessura.



Figura 4.5 - Corrosão por pites

Corrosão em frestas

Se há uma fresta na junção de duas peças de aço e o eletrólito e o oxigênio conseguem penetrar, forma-se uma célula de oxigenação diferenciada. A diferença de concentração de oxigênio produz corrosão. Justamente onde a quantidade de oxigênio é menor, isto é, no interior da fresta, por causa da dificuldade de acesso para o oxigênio, a área é anódica e o ferro passa para a solução na forma de íons. Na área externa, há maior concentração de oxigênio e água e por isso esta parte se comporta como catodo e não sofre corrosão. Já na área intermediária, entre o anodo e o catodo há a formação da ferrugem.

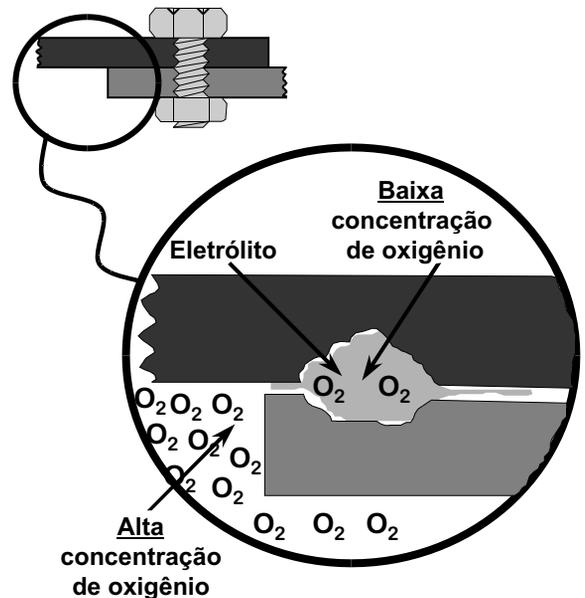


Figura 4.6 - Corrosão em frestas

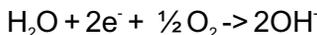
Reações eletroquímicas que ocorrem nas frestas:

Na área anódica (menos aerada por que o ar tem dificuldade de penetrar e por isso com baixa concentração de oxigênio):



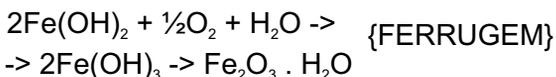
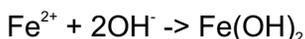
Na área anódica ocorre a desintegração do ferro metálico, pois ele passa para a solução de eletrólito na forma de íons e se dissolve. O íon ferroso Fe^{2+} forma compostos solúveis em água.

Na área catódica (mais aerada por que está em contato com o ar e por isso com maior concentração de oxigênio):



Nesta área catódica ocorre a passivação do aço, pois a água (H_2O) e o oxigênio ($\frac{1}{2}\text{O}_2$) se combinam utilizando os elétrons (2e^-) que vem da região anódica e se formam grupos hidroxila (2OH^-), que tem caráter alcalino. Em meio alcalino o aço é preservado (nesta área não há dissolução do ferro e por isso não há degradação do aço).

Na região intermediária (entre as áreas anódica e catódica):



Nesta região os íons Ferro (Fe^{2+}) procedentes da região anódica e os íons hidroxila (2OH^-) procedentes da região catódica se encontram e produzem a ferrugem que é o óxido de ferro hidratado, $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$.

Nesta região e por causa da presença de oxigênio, o íon ferroso passa à férrico Fe^{3+} que é insolúvel e se precipita formando a ferrugem. A presença da ferrugem é notada por que o óxido de ferro começa a escorrer e manchar a superfície. Costuma-se dizer que a ferrugem está “babando”.

4.1.2.3 Corrosão galvânica

Pares bimetálicos

Quando duas peças metálicas com composições químicas diferentes, são colocadas em contato na presença de um eletrólito, é certo que uma das duas peças sofrerá corrosão e a outra não. Isto ocorre devido à diferença de potenciais elétricos entre os metais.

Eletrólito

É um líquido que tem a capacidade de conduzir eletricidade através de íons.

A água destilada não é um bom condutor de eletricidade por que não tem íons dissolvidos e portanto não pode ser considerado um eletrólito.

Já a água, contendo sais, ácidos ou gases dissolvidos é um bom eletrólito.

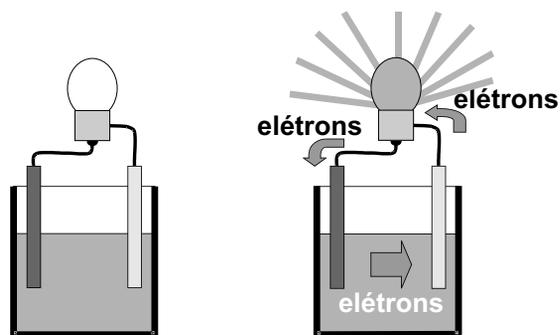


Figura 4.7 - Água destilada é isolante elétrico

Figura 4.8 - Água com sais, ácidos ou gases dissolvidos é condutor elétrico

No caso da água com sais, ou ácido, ou gases dissolvidos, a lâmpada se acende por que o eletrólito fecha o circuito. Esta montagem, com dois eletrodos de metais diferentes e com um eletrólito é chamada de célula eletroquímica de corrosão. Este é o princípio de funcionamento das pilhas. Após o início da introdução do eletrólito, um dos eletrodos irá se dissociar (corroer) e o outro, irá permanecer intacto. O de maior potencial elétrico negativo é quem irá se desintegrar, por que libera íons para a solução de eletrólito. Os eletrodos são chamados de anodo e catodo.

Anodo - É o eletrodo mais eletronegativo, é quem libera íons para a solução e é quem se corrói.

Catodo - É o eletrodo mais eletropositivo, é o que libera elétrons para a solução e é o que permanece intacto sem sofrer desgaste.

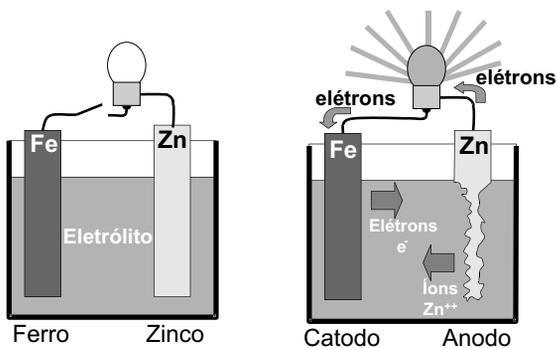


Figura 4.9 - Célula de corrosão eletroquímica

Na figura 4.5, enquanto o contato elétrico não foi fechado, a lâmpada não se acendeu e não houve nenhum dano aos eletrodos, mesmo com a presença do eletrólito. No momento em que o circuito foi fechado a pilha galvânica funcionou e o eletrodo de zinco que é mais eletronegativo do que o ferro começou a se desintegrar, ou seja, a sofrer corrosão.

Elementos metálicos	Potencial	Anódico
Magnésio	-1,55	<p>Menos nobre Mais eletronegativo</p> <p>↑</p>
Alumínio	-1,34	
Zinco	-0,76	
Cromo	-0,55	
Ferro	-0,43	
Níquel	-0,22	
Hidrogênio	0,00	<p>↓</p> <p>Mais eletropositivo Mais nobre</p>
Cobre	+0,34	
Prata	+0,80	
		Catódico

Tabela 4.1 - Potenciais padrão de eletrodos (resumida)

ANÓDICO
Magnésio
Zinco
Aço Galvanizado
Alumínio e Ligas
Cádmio
Aços Carbono
Aços de baixa liga e Alta resistência
Ferro fundido
Chumbo
Latão
Bronzes
Cobre
Aços Inoxidáveis
Titânio
CATÓDICO

Tabela 4.2 - Prática de nobreza em água do mar (resumida)

Na tabela 4.1, de potenciais padrão de eletrodos acima, são apresentados os elementos metálicos e seus potenciais em relação ao eletrodo de hidrogênio e na tabela 4.2, de nobreza em água do mar, ambas retiradas do livro "Corrosão" do Prof. Gentil, são mostrados metais e ligas encontradas comumente na engenharia. A ordem de quem é mais nobre ou menos nobre na tabela 4.2 foi obtida experimentalmente em água do mar, a temperatura de 25 °C, em movimento.

A tabela 4.1 não apresenta correlação com a tabela 4.2. Por exemplo, na tabela 4.1 podemos ver que o Cromo é menos nobre que o Ferro, o Níquel, o Cobre ou a Prata, o que não se observa na prática. O Cromo se passiva e não se corrói. É o que ocorre com o aço inoxidável passivado. Na tabela 4.2 ele aparece como um dos mais nobres, por causa principalmente do Cromo que há na sua composição. A tabela 4.1 é empregada em trabalhos acadêmicos, onde se utilizam elementos metálicos puros, já a tabela 4.2 é mais útil para a engenharia e para trabalhos de escolha de materiais que ficarão em contato. Pode ser observado que quanto mais distante entre si, maior é a diferença de potencial e por isso maior será a velocidade da corrosão, quando os metais são colocados em contato em presença de um eletrólito. Estas tabelas podem ser melhor visualizadas no livro "Corrosão" do Prof. Vicente Gentil.

Também a concentração do eletrólito influi na velocidade de corrosão: Quanto maior a concentração de sais ou de ácidos ou de gases corrosivos, maior será a velocidade de corrosão. Estes são chamados de eletrólitos fortes.

Se por exemplo, colocarmos em contato em um eletrólito, uma barra de cobre e outra de aço (ferro), o anodo será o aço, pois é mais eletronegativo do que o cobre e se o eletrólito é o ácido sulfúrico, o ferro se dissociará em íons ferro (Fe) que se combinarão com os íons sulfato (SO₄) do ácido e formarão sulfato ferroso (Fe SO₄).

Na reação há liberação de hidrogênio que se combina com outro hidrogênio e forma o gás hidrogênio (H₂).

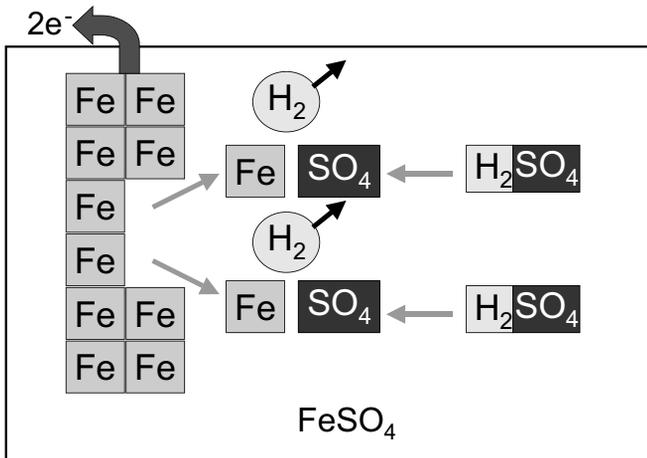
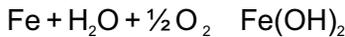


Figura 4.10 - Corrosão no anodo de ferro em contato com catodo de cobre e em presença de eletrólito ácido sulfúrico

Reações do Ferro com:

Água e oxigênio



Ácido sulfúrico



Ácido clorídrico



Ácido nítrico



Ácido carbônico



No caso de uma peça de aço, isolada, sem contato com outra peça, como explicar a corrosão generalizada que ocorre em sua superfície?

Podemos imaginar que a superfície do aço contém inúmeras micro-áreas anódicas e catódicas, devido à existência de diferentes orientações cristalográficas dos grãos que compõe a liga, diferentes níveis de tensões entre regiões contíguas, diferentes concentrações de espécimes em solução, (por exemplo: o oxigênio), desuniformidades na distribuição de precipitados, etc. Enquanto o ambiente está seco, não há problemas de corrosão. Quando o eletrólito se deposita sobre a superfície na forma de orvalho, de névoa salina ou por condensação de vapores ácidos, a pilha, isto é, a célula

de corrosão eletroquímica começa a funcionar e a micro-área anódica irá sofrer corrosão.

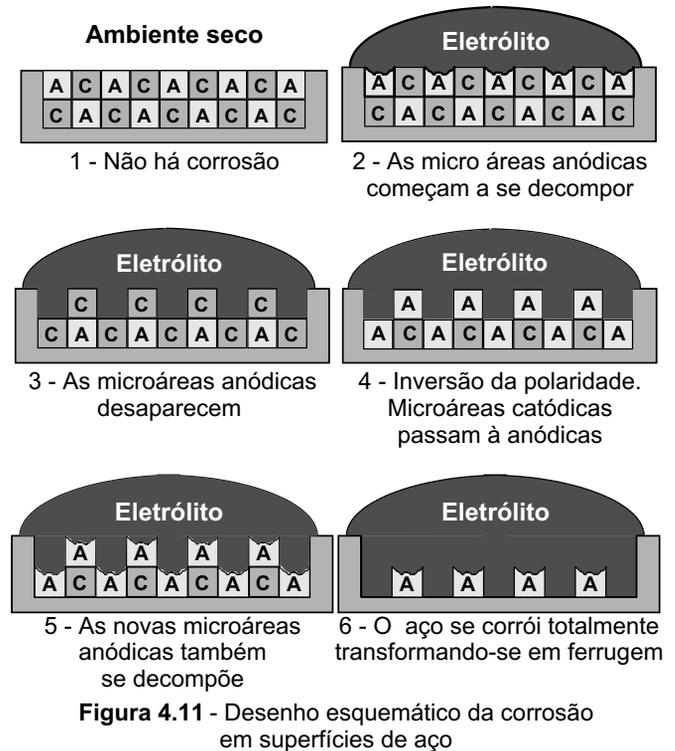


Figura 4.11 - Desenho esquemático da corrosão em superfícies de aço

4.1.3 Meios corrosivos

Para estruturas e equipamentos em aço, o meio corrosivo mais importante é a atmosfera.

4.1.3.1 Corrosão atmosférica

A corrosividade da atmosfera depende de:

Oxigênio:

Este fator é praticamente fixo pois pouco varia de local para local, a não ser que a altitude seja levada em consideração maiores altitudes, menor concentração de oxigênio em relação ao nível do mar.

Umidade relativa do ar:

Este fator sim, depende muito de local para local, do macro e do micro clima, da geografia e da topografia e da presença de matas na região. Por exemplo, nas proximidades de uma torre de resfriamento a umidade é muito alta e chega a haver condensação de água na superfície metálica.

Em atmosfera seca, ou com baixa umidade, sem presença de filme de eletrólito na superfície metálica, há uma lenta oxidação. O próprio óxido dificulta o prosseguimento da corrosão.

Eletrólito é um meio líquido condutor de eletricidade, no qual o transporte de cargas se realiza por meio de íons. Eletrólito forte é uma substância que, em solução, se dissocia totalmente em íons. Para o nosso caso, a umidade condensada sobre a superfície absorve gases e sais da atmosfera e deixa de ser um líquido isolante elétrico para ser condutor de eletricidade.

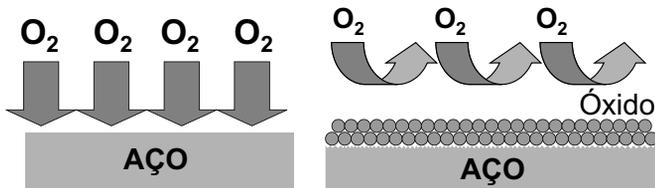


Figura 4.12 - Corrosão do aço em ambiente seco

Em atmosferas com umidade relativa acima de 60 % há condensação de um filme fino de eletrólito na superfície. A velocidade da corrosão depende da umidade relativa, dos poluentes atmosféricos e da higroscopicidade dos produtos de corrosão.

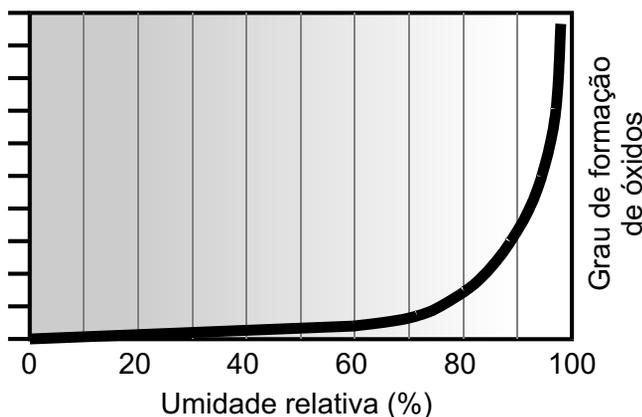


Figura 4.13 - Gráfico da taxa de corrosão em função da umidade relativa do ar

Com a umidade relativa perto de 100% ocorre condensação na superfície metálica. Também com água de chuvas observa-se que a superfície fica molhada com o eletrólito.

Em seguida, o vento e o calor do sol secam a

superfície favorecendo a corrosão. Superfície somente seca ou somente molhada o tempo todo, são situações menos agressivas do que a alternância molhada e seca, na qual a corrosão é acelerada.

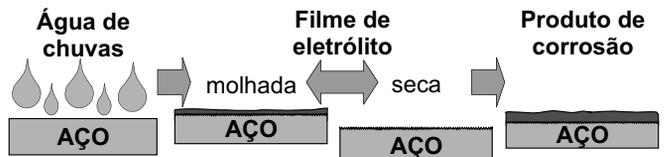


Figura 4.14 - Efeito da alternância entre o molhamento e a secagem da superfície do aço

• Tempo de permanência do eletrólito na superfície

A permanência do eletrólito na superfície também influi na corrosão e quanto maior é o tempo, maior é a ação corrosiva sobre o aço.

• Temperatura

A temperatura influi na corrosividade, porque há menor possibilidade de condensação da umidade do ar quando a temperatura ambiente é alta. Quando a temperatura é baixa há maior possibilidade de condensação e de adsorção de gases ácidos e corrosivos.

• Atmosferas agressivas

Vamos considerar atmosferas agressivas, as que contêm poluentes e névoas salinas. Como poluentes, podemos citar os vapores, os gases e as poeiras não naturais. Os agentes agressivos mais importantes em cada ambiente são:

Meio	Agentes agressivos
Rural	Sol, Chuva, Umidade e Poeira do solo (baixos teores de poluentes)
Urbano	Sol, Chuva, Umidade, Fuligem e SO ₂ (depende da intensidade do tráfego)
Industrial	Sol, Chuva, Umidade, Fuligem, Poeira de produtos químicos e gases (SO ₂ , CO ₂ e H ₂ S)
Marítimo	Sol, Chuva, Umidade, Poeira de areia e Névoa salina (predomina o Cloreto de sódio - NaCl)

Tabela 4.3 - Agressividade das atmosferas em função do meio

Sol, chuva, umidade e poeiras do solo são agentes naturais e mesmo em ambiente rural eles sempre estarão presentes.

A fuligem é uma poeira originada na queima de combustíveis (um pó preto). Sua ação corrosiva é devida à higroscopicidade das partículas e ao caráter ácido da poeira, que é resultante da queima de compostos contendo enxofre. Na fuligem produzida pela queima de óleo diesel e óleo combustível, é encontrado resíduo de ácido sulfúrico.

O SO_2 (Dióxido de enxofre ou anidrido sulfuroso) é um gás produzido na queima de compostos de enxofre contido nos combustíveis como o diesel e o óleo BPF.

O SO_2 , em presença de oxigênio do ar atmosférico e de alguns metais como o Vanádio, que está na composição do aço, se transforma em SO_3 , que dissolvido em água gera ácido sulfúrico. Por isso em meios industriais e centros de cidades com tráfego intenso de ônibus e de caminhões e muitas caldeiras de indústrias, de hotéis, e de hospitais, há a chamada chuva ácida.

Ação dos anidridos sulfuroso e sulfúrico

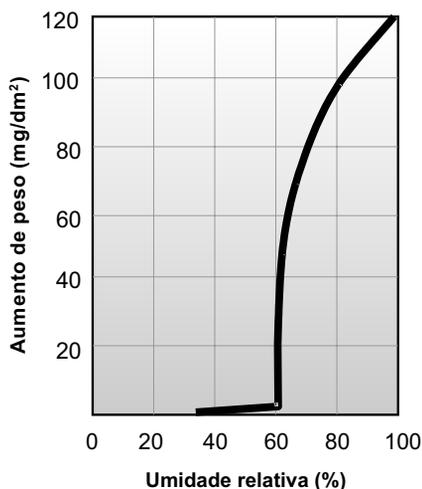
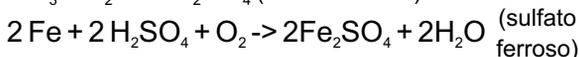
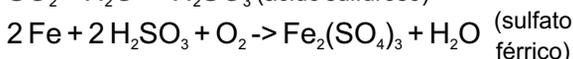


Figura 4.15 - Corrosão do aço em função da umidade relativa contendo 0,01% de SO_2 durante 55 dias de exposição

O H_2S é um gás que se encontra nos ambientes de refinarias de petróleo e próximo de rios degradados como o Rio Tietê e o Rio Pinheiros, ambos em São Paulo - SP. Não há necessidade de umidade relativa do ar elevada para o H_2S que é um gás muito ácido e corrosivo, atacar o aço carbono e o cobre e suas ligas.

O CO_2 pode ser encontrado na natureza pois os seres humanos, os vegetais e os animais ao respirarem produzem o CO_2 . Já nos ambientes industriais, e nos centros urbanos de tráfego intenso, o CO_2 é produzido pela queima dos combustíveis. A queima completa de hidrocarbonetos produz água e CO_2 que dissolvido na água produz ácido carbônico, que reagindo com o aço produz carbonato de ferro. O carbonato de ferro não é tão solúvel como o sulfato, portanto a corrosão não é tão grave como com o anidrido sulfuroso ou com o anidrido sulfúrico.

Em um ambiente marítimo, onde a névoa salina é produzida pela rebentação das ondas nas praias, a nebulização da água (spray) é levada pelos ventos para a orla marítima e cai por gravidade. Quanto mais próximo da praia, maior é a presença de névoa salina no ar. Nos mares, a água tem cerca de 3,5% de Cloreto de Sódio. Outro fato que colabora para a névoa salina ser corrosiva é que a água salgada condensada é um eletrólito forte. Para que a corrosão ocorra, em uma superfície de aço carbono é necessário que haja áreas com potenciais elétricos diferentes, contato elétrico entre estas áreas e presença de um eletrólito (líquido condutor de corrente elétrica através de íons).

4.2 Proteção contra a corrosão por pintura

A pintura é sem dúvida o método mais barato e apropriado para proteção de estruturas e equipamentos de aço contra a corrosão. A facilidade de aplicação e de manutenção faz da pintura o método mais viável para a proteção destas superfícies. A tinta é muito eficiente na proteção anticorrosiva, basta verificar que as películas mais espessas de esquemas de pintura para aço exposto à corrosão atmosférica, são da ordem de $\frac{1}{4}$ de mm, ou 250

micrometros. No entanto é necessário escolher bem as tintas apropriadas para executar esta tarefa de proteger a superfície metálica. Por isso vamos conhecer como as tintas atuam e como são seus mecanismos de ação.

4.2.1 Tintas anticorrosivas

Chamamos de tintas anticorrosivas aquelas que são exclusivas para superfícies metálicas, de secagem ao ar e que podem ser mono ou bicomponentes.

Podem ser de alto ou baixo sólidos, de alta ou baixa espessura e à base de água ou de solventes orgânicos. Quando são tintas de fundo ou dupla função, isto é, fundo e acabamento (epoximastic), é necessário que tenham pigmentos anticorrosivos em sua composição.

4.2.2 Propriedades importantes

Para que possam ter alto desempenho, estas tintas devem possuir pelo menos três propriedades importantes: aderência, impermeabilidade e flexibilidade.

4.2.2.1 Aderência

É fundamental que a tinta tenha boa aderência, pois se houver qualquer falha na película ou danos durante a sua vida útil, em que o metal base foi exposto, a corrosão que se inicia nesta região não avança, pois a aderência restringe o seu movimento por baixo da película.

Em qualquer tinta a aderência é uma propriedade importante, mas nas tintas anticorrosivas ela é maior ainda, pois não se concebe uma tinta anticorrosiva que não tenha boa aderência.

4.2.2.2 Impermeabilidade

Nas tintas anticorrosivas a impermeabilidade é outra propriedade fundamental, pois os agentes corrosivos devem ser mantidos afastados do metal. Quanto mais impermeável, maior é a durabilidade da pintura. O oxigênio e o vapor de água permeiam as tintas, pois não há ainda uma resina totalmente impermeável. Umas são mais permeáveis e outras

menos permeáveis. Por isso o formulador de tintas tem que contar com resinas, o mais impermeáveis possível, para que a tinta anticorrosiva tenha vida útil longa.

Pela ordem, das mais permeáveis às mais impermeáveis, podemos classificar as tintas alquídicas, as epoxídicas e as poliuretânicas.

Mais permeáveis	alquídico	epóxi	poliuretano	Menos permeáveis
-----------------	-----------	-------	-------------	------------------

Figura 4.16 - Permeabilidade de algumas tintas

Para uma tinta ser anticorrosiva, é preciso que a sua resina tenha aderência, seja impermeável, que a sua formulação seja balanceada para impedir ocorrência de poros, que os pigmentos usados sejam de formato lamelar (minúsculas plaquetas que proporcionam uma barreira mais eficiente) e que a tinta seja de alta espessura (para retardar o caminho do meio agressivo até o metal base).

Com base nestas afirmações, podemos dizer que as tintas epoxídicas, são as que mais atendem as exigências das tintas anticorrosivas. As resinas epoxídicas possuem ótima flexibilidade, são muito impermeáveis e por causa da sua natureza química aderem firmemente aos substratos metálicos.

As tintas epoxídicas, dependendo do catalisador utilizado na formulação, são excelentes para usos específicos, como:

- Catalisador: epoxi-poliamida - Para interiores de tanques de água, inclusive potável, ou em lugares muito úmidos,
- Catalisador: epoxi-poliamina - Para interiores de tanques de produtos químicos, dependendo da concentração e da temperatura de trabalho do tanque e também para a imersão em solventes, combustíveis e óleos lubrificantes.
- Catalisador: epoxi-isocianato - Para aderência sobre galvanizado, alumínio e outros metais não ferrosos.

As tintas epoxi-betuminosas são as mais apropriadas para peças que trabalham imersas em águas de processo (não potável) ou efluentes industriais ou simplesmente peças enterradas, por oferecerem excelente proteção por barreira, já que são de alta espessura e de alta impermeabilidade.

4.2.2.3 Flexibilidade

Aparentemente, esta propriedade das tintas não tem muita importância se considerarmos que uma viga ou uma coluna ou uma peça metálica não sofrerão dobramentos ou flexões durante a sua vida útil. Mas não podemos deixar de lembrar que com a variação da temperatura da noite para o dia, do inverno para o verão, a superfície metálica irá sofrer dilatação e contração e a tinta deverá acompanhar os movimentos da base sem se fissurar ou trincar. Onde houver uma fissura, o meio agressivo encontrará o caminho mais fácil para alcançar o metal. As tintas portanto devem ter boa flexibilidade inicial e permanecer com boa flexibilidade durante toda a vida útil da pintura, por longos períodos.

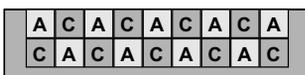
4.2.3 Mecanismos de proteção das tintas

4.2.3.1 Proteção por barreira

Qualquer tinta faz uma barreira e isola o metal do meio corrosivo. As mais eficientes entretanto são as mais espessas e com resinas de alta impermeabilidade e alta aderência. Quanto mais tempo o vapor de água, o oxigênio e os gases corrosivos levam para atravessar a película, melhor é a tinta.

As melhores tintas anticorrosivos que protegem por barreira devem ser formuladas com aditivos tensoativos eficazes, com pigmentos lamelares, e capazes de serem aplicadas em alta espessura para conferirem aos equipamentos pintados grande durabilidade, mesmo em ambientes de extrema agressividade.

Ambiente seco



Em uma superfície de aço há inúmeras micro-áreas anódicas

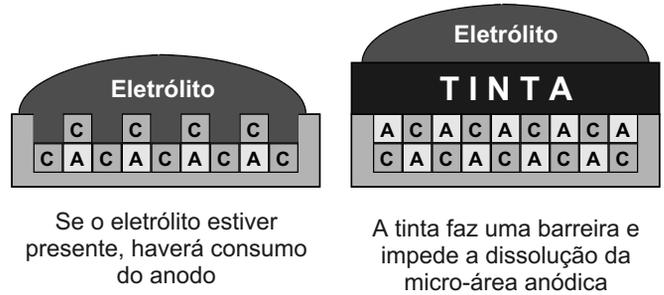


Figura 4.17 - Mecanismo de ação da tinta que atua por barreira

4.2.3.2 Proteção anódica

As tintas que protegem por proteção anódica são aquelas que possuem em sua composição os pigmentos anticorrosivos de inibição anódica. Inibição anódica é a ação dos pigmentos que têm a propriedade de alterar a agressividade do meio corrosivo e formar camadas isolantes junto ao metal, quando os agentes corrosivos atravessam a película da tinta. Exemplos: zarcão, cromato de zinco, fosfato de zinco, silicato de cálcio, etc.

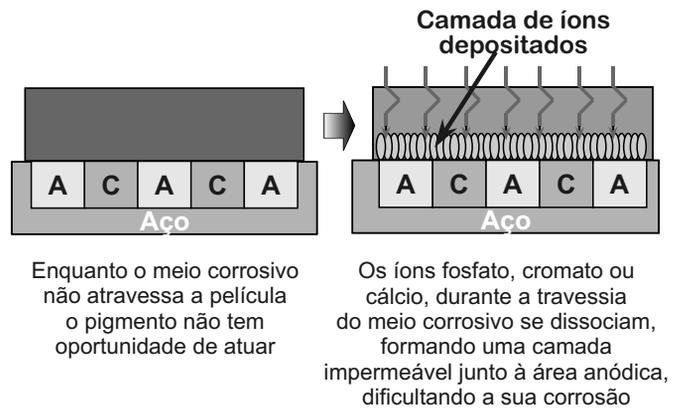


Figura 4.18 - Mecanismo de ação da tinta que atua por proteção anódica

4.2.3.3 Proteção catódica

Não se trata de proteger a área catódica do aço, mas de tornar o aço catódico por contato com um metal menos nobre. Este metal é o zinco e o mecanismo é chamado de revestimento de sacrifício. Enquanto houver zinco em quantidade suficiente na superfície, o aço não sofrerá corrosão. O zinco é anódico e o ferro, passa a ser catódico, daí o nome de proteção catódica. O zinco é sacrificado para que o aço permaneça intacto. A proteção só funciona com alto teor de pigmento zinco metálico na película seca. São as famosas tintas "Ricas em Zinco".

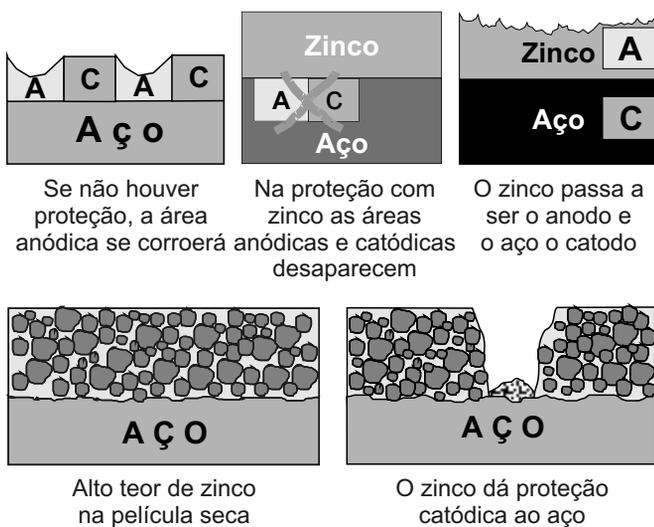


Figura 4.19 - Mecanismo de ação da tinta que atua por proteção catódica

Estas tintas, também são chamadas de galvanização à frio. Se houver um risco na superfície haverá consumo do Zinco e não do Aço e o corte ficará por muito tempo sem corrosão. Se o risco for muito profundo ou muito largo, o zinco não terá como proteger o aço por que ele estará fora do seu campo de ação.

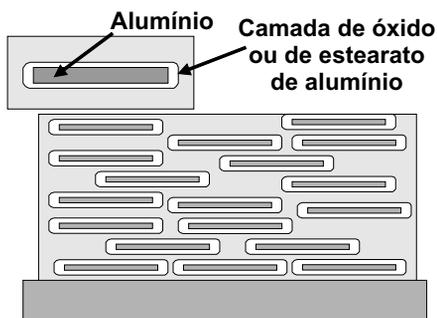


Figura 4.20 - O contato elétrico entre os pigmentos é prejudicado, pela camada que envolve cada partícula

Ao contrário do que se pode pensar, o alumínio não é um pigmento que dá proteção catódica. Apesar de ser mais eletronegativo do que o ferro e até mais do que o zinco, o alumínio reage muito rapidamente com o oxigênio e outros agentes corrosivos da pasta na qual é fabricada, que possui estearato, produzindo uma camada superficial, que isola as partículas, impedindo o contato elétrico entre elas.

Por isso, o alumínio pode proporcionar uma ótima proteção por barreira, mas não proteção catódica. Somente o zinco entre os pigmentos metálicos pode atuar em tintas produzindo excelente proteção catódica.

4.3 Projeto x desempenho de pintura anticorrosiva

O projetista deve ter em mente que um bom projeto leva em conta que a tinta não é eterna e deve prever condições de acesso para manutenções e para que durante a vida útil das pinturas sejam evitados acúmulos e infiltrações de água.

Alguns conselhos são oferecidos em livros e normas técnicas. Uma norma das mais importantes é a ISO 12944 - Parte 3, que faz considerações sobre "design", ou seja, sobre detalhes de projeto que podem influenciar na corrosão.

A Parte 3 desta norma apresenta um guia de como minimizar o risco de corrosão por meio de medidas apropriadas de projeto para estrutura de aço a ser pintada com sistema de tintas anticorrosivas.

Os desenhos devem ser simples, evitando-se a complexidade excessiva.

A norma faz considerações sobre critérios, que podem ser adotados para melhorar a proteção contra a corrosão.

As superfícies da estrutura de aço expostas aos meios corrosivos, devem ser pequenas em extensão. As estruturas devem ter o menor número possível de irregularidades (por exemplo: sobreposições, cantos e arestas vivas, bordas). As juntas devem, preferencialmente, ser soldadas ao invés de aparafusadas ou rebitadas, para conseguir superfícies mais lisas e sem saliências em toda a extensão. Soldas descontínuas e pontos de soldas devem ser usados somente onde o risco de corrosão é desprezível.

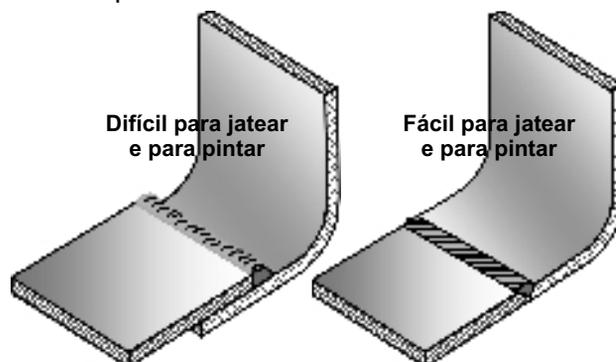


Figura 4.21 - Evitar sobreposições de chapas, preferir soldas do tipo entalhe

A norma cita os seguintes pontos a serem observados pelo projetista:

- Acessibilidade
- Frestas e espaços estreitos
- Retenção de água
- Arestas e bordas
- Soldas irregulares
- Conexões parafusadas:
 - ligações à força cortante com parafusos de alta resistência
 - chapas de ligação parafusadas
- Parafusos, porcas e arruelas
- Vigas Alveolares e Perfis Tubulares
- Chanfros
- Enrijecedores
- Prevenção de corrosão galvânica
- Manuseio, transporte e montagem

4.3.1 Acessibilidade

Os componentes de aço devem ser projetados para permitirem acesso para aplicação, inspeção e manutenção das tintas anticorrosivas. Isto pode ser facilitado, por exemplo, por instalação de passagens ou passarelas fixas, plataformas mecanizadas ou elevatórias ou outros equipamentos auxiliares.

Os equipamentos que forem usados para efetuar a manutenção deverão ser seguros (por exemplo: ganchos, orelhas e pontos de fixação para andaimes, trilhos de guia para os equipamentos de preparação de superfície e para aplicação de tintas) deverão ser previstos já no projeto.

O operador deve ter acesso suficiente para que possa trabalhar nos serviços de preparação de superfície e para a aplicação das tintas. A tabela 4.4 e a figura 4.22 com as medidas recomendadas são apresentadas no Anexo A da norma.

Operação	Comprimento da ferramenta (D_2) mm	Distância entre a ferramenta e o substrato (D_1) mm	Ângulo de operação (α) graus
Limpeza por jateamento abrasivo	800	200 a 400	60 a 90
Limpeza por ferramentas mecânicas			
- por pistola de agulhas	250 a 350	0	30 a 90
- por escovamento /lixamento	100 a 150	0	-
Limpeza por ferramentas manuais			
- por escovamento /raspagem	100	0	0 a 30
Metalização por aspersão térmica	300	150 a 200	90
Aplicação de tintas			
- por pistola	200 a 300	200 a 300	90
- por pincel	200	0	45 a 90
- por rolo	200	0	10 a 90

Tabela 4.4 - Espaço recomendado para operação em função do comprimento e ângulo da ferramenta

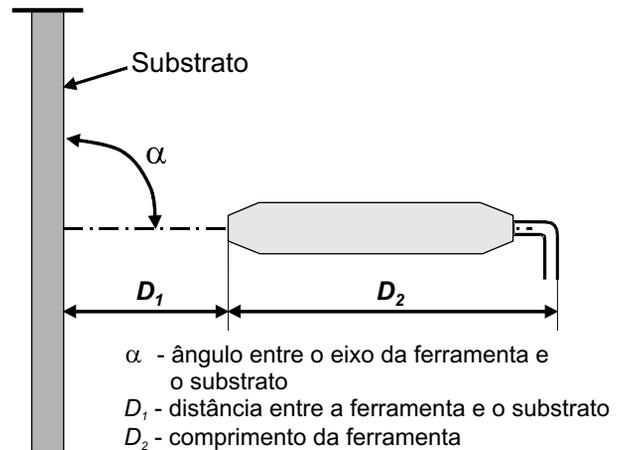


Figura 4.22 - Medidas recomendadas para preparação de superfície e aplicação de tintas

Atenção especial deve ser dedicada para assegurar acesso às aberturas em membros de caixas e tanques. As aberturas devem ser de tamanho suficiente para possibilitar acesso fácil e seguro para o operador e para o seu equipamento, inclusive os EPIs. Devem ser previstos também, se possível, aberturas ou furos adequados para ventilação, para permitir a aplicação de tintas. A figura 4.23 com desenhos e medidas são apresentados no Anexo B da norma.

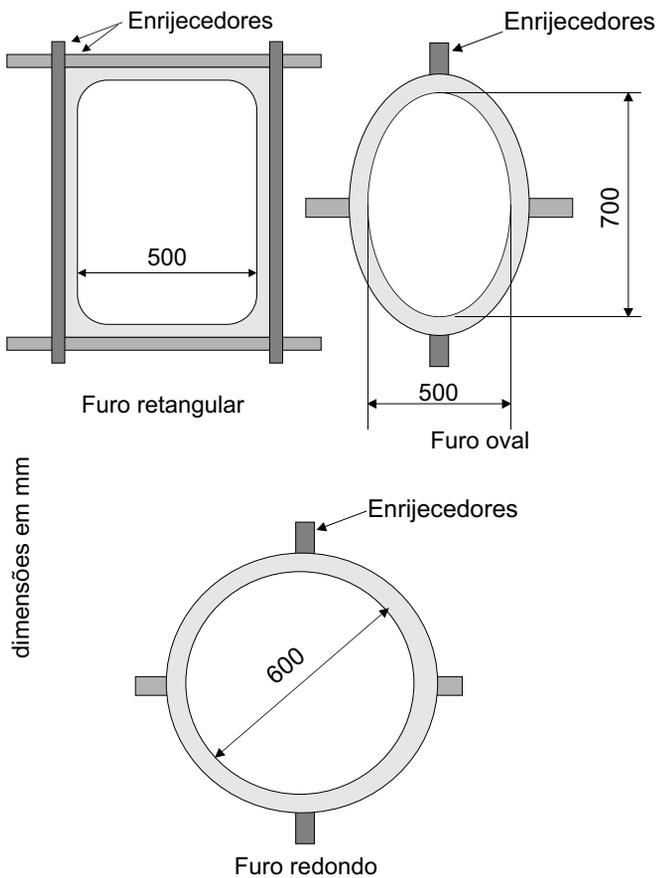
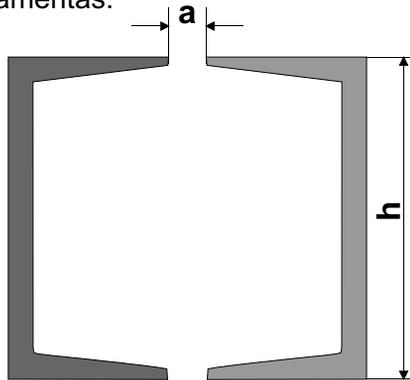


Figura 4.23 - Medidas recomendadas para aberturas ou furos, para ventilação e aplicação de tintas

Quando não é possível evitar espaços estreitos entre os elementos, por razões práticas ou estruturais, as advertências dados no Anexo C devem ser seguidas.

Para possibilitar a preparação, a pintura e a manutenção de uma superfície, um operador tem de ser capaz de ver e alcançar a superfície com suas ferramentas.



- a: Distância mínima permitida entre seções ou entre seções e superfícies adjacentes (mm)
- h: Máxima distância que um operador pode alcançar em um espaço estreito (mm)

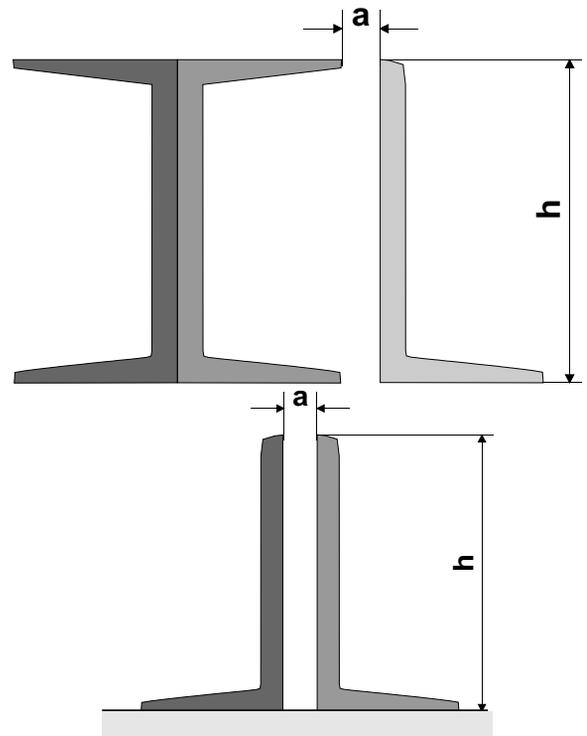


Figura 4.24 - Medidas recomendadas para espaços entre as superfícies

A distância mínima permitida (a) entre as duas seções pode ser encontrada por interpolações na figura 4.25 para (h) até 1.000 mm.

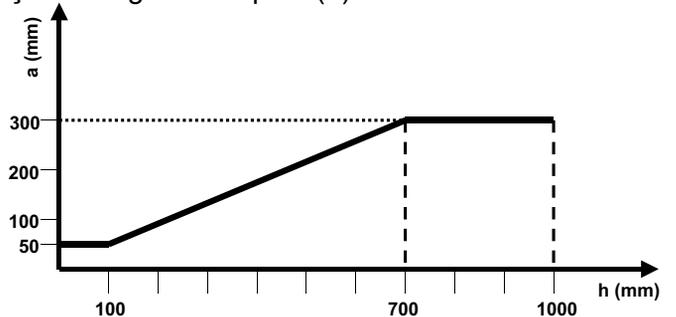
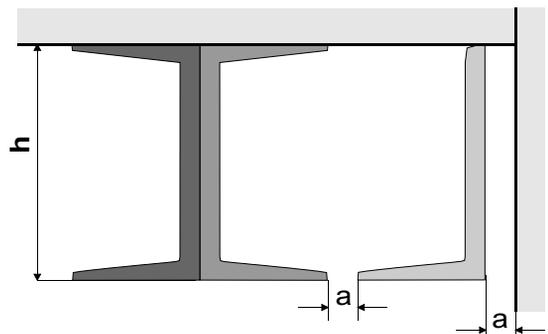


Figura 4.25 - Distância mínima em função do alcance máximo, em espaços estreitos

A distância mínima permitida (a) entre a seção e a superfície adjacente é possível de ser encontrada por interpolações no gráfico da figura 4.26.



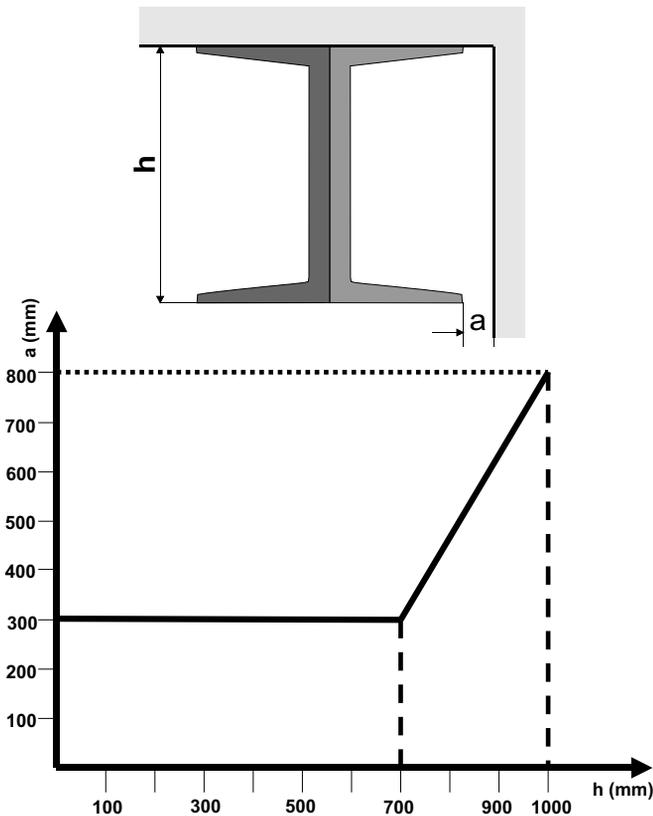


Figura 4.26 - Distância mínima em função do alcance máximo, em espaços estreitos

Nota: Onde o projetista não puder atender às recomendações acima, será necessário tomar medidas especiais.

Componentes nos quais há o risco de corrosão e são inacessíveis após a montagem, deverão ser feitos com um material resistente à corrosão ou ter um sistema de pintura anticorrosiva que deverá ser efetivo durante toda a vida útil da estrutura. Alternativamente, uma tolerância para a corrosão deverá ser considerada, como por exemplo, aço com espessura maior (espessura de sacrifício).

4.3.2 Frestas e espaços estreitos

Frestas, espaços estreitos e juntas sobrepostas são pontos em potencial de corrosão onde o ataque ocorre devido a retenção de umidade e de sujeira, incluindo o abrasivo usado no preparo da superfície para a pintura. O potencial de corrosão deste tipo de ocorrência pode ser evitado com o uso de um selante ou uma massa de vedação.

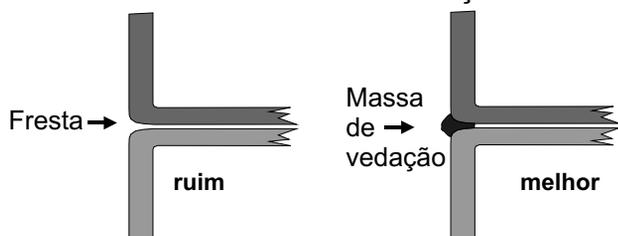


Figura 4.27 - Frestas e como evitar corrosão nestes locais

Na maioria dos ambientes corrosivos o espaço deve ser preenchido com uma lâmina de aço que ultrapassa a seção da junta e é soldada em toda a volta.

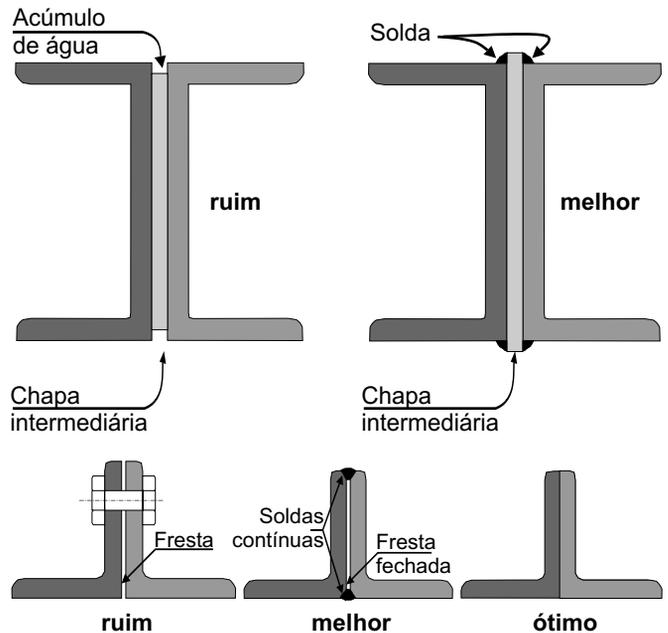


Figura 4.28 - Situações ruins e como melhorar a resistência à corrosão

Nota: estes exemplos apenas ilustram o princípio. O exemplo abaixo nem sempre pode ser empregado e não consta da norma, mas pode ser considerado, pois há acesso por todos os lados para a limpeza e repintura.

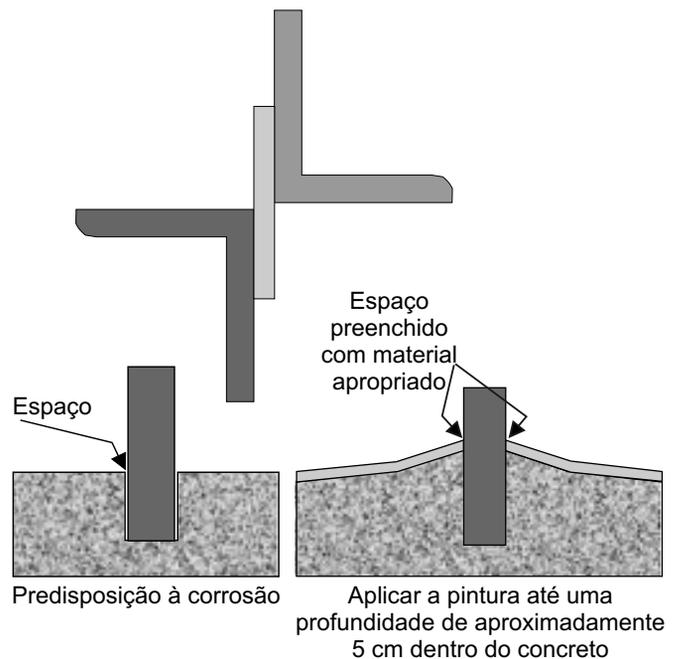


Figura 4.29 - Situações que favorecem a corrosão e como podem ser melhoradas

4.3.3 Retenção de água

Configurações de superfícies nas quais a água pode ficar retida, assim como a presença de materiais estranhos como sujeiras, que aumentam a condição corrosiva, devem ser evitadas. O projetista deve também ter cuidado com possíveis efeitos de escoamentos, de ferrugem de um aço comum sobre um aço inoxidável, com conseqüente corrosão ou manchamento do aço inox.

Algumas precauções adequadas para ir de encontro a estes objetivos são:

- Desenhos com superfícies inclinadas ou chanfradas.
- Eliminação de seções abertas no topo ou arranjo em uma posição inclinada.
- Evitar bolsas e reentrâncias nas quais a água e sujeiras podem ficar retidas.
- Drenos que conduzam a água e líquidos corrosivos para fora da estrutura.

Exemplos de desenhos adequados que podem ser usados para evitar depósito, empoçamento e estagnação de água são mostrados no anexo D da norma.

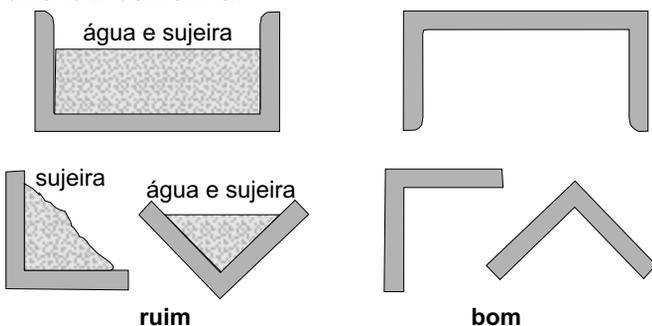


Figura 4.30 - Desenhos que favorecem a retenção de água e sujeira e como podem ser melhorados

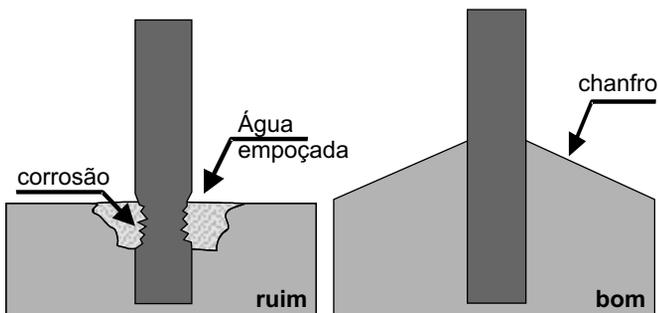


Figura 4.31 - O acúmulo de água na região de engaste do aço no concreto deve ser evitado

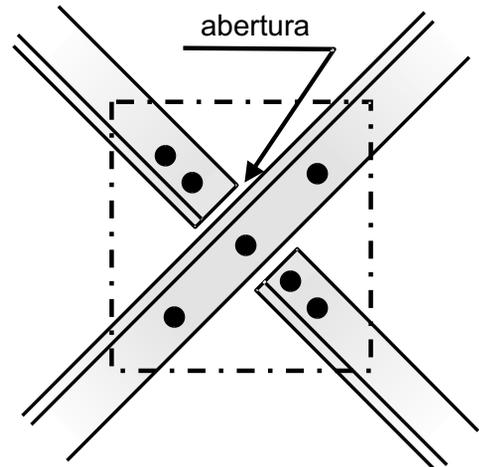


Figura 4.32 - Abertura para escoamento da água

Drenos, bicas, canos, tubos ou brechas podem ser usados para evitar a formação de depósitos ou penetração de água. Deve ser considerada a possibilidade do vento soprar gotas de água para dentro das frestas.

4.3.4 Arestas e bordas

É desejável que as bordas sejam arredondadas de maneira que a aplicação de tintas anticorrosivas seja uniforme e para que se obtenha uma espessura adequada nas arestas vivas e quinas. As tintas nas arestas vivas são mais susceptíveis.

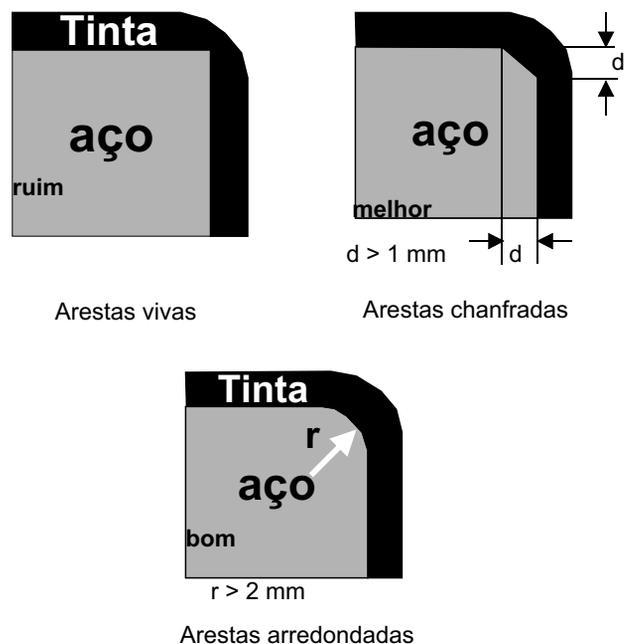


Figura 4.33 - Arestas vivas, chanfradas e arredondadas

4.3.5 Soldas irregulares

As soldas devem ser livres de imperfeições como por exemplo: asperezas, reentrâncias, saliências, protuberâncias, orifícios, crateras e respingos, os quais dificultam a perfeita aplicação das tintas e a eficiência dos sistemas de proteção das pinturas. A superfície da solda deve ser adequadamente alisada com ferramentas mecânicas como disco abrasivo ou esmeril.

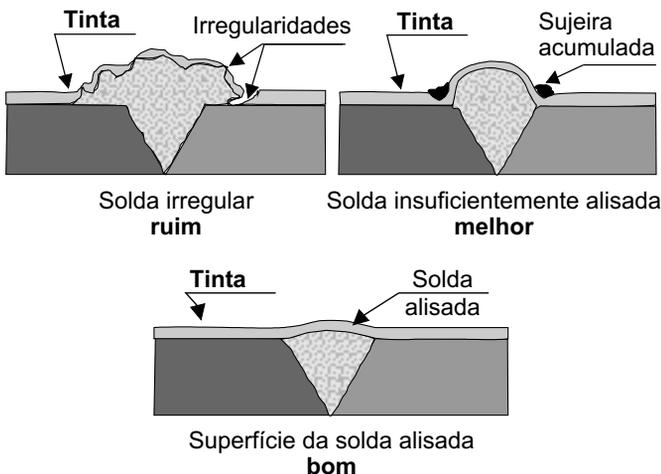


Figura 4.34 - A superfície da solda deve ser analisada para diminuir a possibilidade de corrosão

4.3.6 Conexões parafusadas

4.3.6.1 Ligações à força cortante com parafusos de alta resistência

As superfícies de fricção de conexões resistentes ao deslizamento devem ser jateadas antes de serem montadas, a um grau mínimo de preparação de superfície Sa 2½ da norma SIS 05 5900:1967 ou ISO 8501-1, com uma rugosidade previamente acordada. Na área de fricção das conexões, deve ser aplicado material, com fator de atrito adequado.

4.3.6.2 Chapas de ligação parafusadas

Particular atenção deve ser dada na especificação de filmes de tintas para conexões tipo chapas de ligação parafusadas. A norma menciona o item 5.6 da ISO 12944-5. Este item diz o seguinte:

Para assegurar o máximo desempenho do

sistema de pintura, a maioria das demãos ou se possível o sistema completo deve preferencialmente ser aplicado na oficina. As vantagens e as des-

Aplicação na oficina
<p><u>Vantagens</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Melhor controle da aplicação • Controle da temperatura • Controle da umidade relativa do ar • Facilidade de reparos de danos • Grande produtividade • Melhor controle dos desperdícios e da poluição <p><u>Desvantagens</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Possível limitação de componentes construtivos • Danos devidos ao manuseio, transporte e montagem • O tempo para repintura pode ser excedido • Possível contaminação do local durante a aplicação da última demão

Tabela 4.5 - Vantagens e desvantagens da aplicação na oficina

vantagens da aplicação na oficina são:

Depois de completada a montagem no local da construção, qualquer dano deverá ser retocado e finalmente a estrutura toda deverá ser pintada com a demão final do sistema de pintura.

A aplicação das tintas no campo é fortemente influenciada pelas condições do tempo (clima) diário, que tem também certa influência na expectativa de vida útil do sistema de pintura.

Se conexões tipo chapas de ligação parafusadas serão pintadas, o sistema de pintura não deverá possibilitar nenhum decréscimo inaceitável no torqueamento de aperto dos parafusos.

O sistema de pintura selecionado e/ou as precauções tomadas para tais conexões dependerão do tipo de estrutura e do subsequente manuseio, transporte e montagem.

4.3.6.3 Parafusos, porcas e rebites

Estas regiões são sensíveis à corrosão por terem composição diferente dos aços que unem, formando pares bimetálicos. Nelas também existem arestas vivas, quinas e frestas, que devem ser

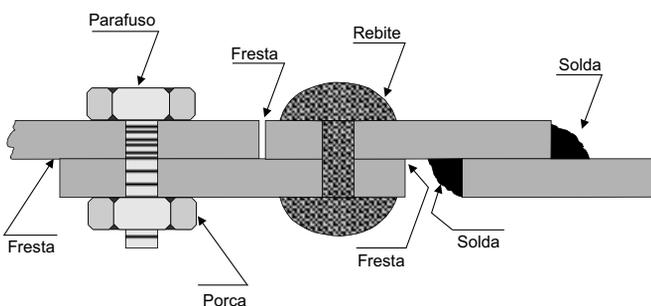


Figura 4.35 - Regiões sensíveis à corrosão em uma estrutura de aço

reforçadas com pintura à pincel.

Parafusos, porcas, rebites e também arruelas, devem ser protegidas contra a corrosão, do mesmo modo e com a proteção do restante da estrutura para não se tornarem pontos fracos.

Obs.: Se os parafusos e porcas forem grandes, pode-se cobri-los com fita crepe e depois aplicar massa epóxi. Se no futuro houver necessidade de desmontar a estrutura ou um flange, pode-se quebrar a massa com uma talhadeira, retirar os resíduos da massa e soltar os parafusos.

4.3.7 Vigas alveolares e perfis tubulares

Já que elas minimizam a área de superfície exposta a corrosão atmosférica, as vigas alveolares (interior acessível) e os perfis tubulares (interior inacessível), têm para efeito da corrosão, um formato de seção transversal satisfatório, contanto que sejam cumpridas as exigências dadas abaixo.

- Vigas alveolares com componentes recortados ou furados e perfis tubulares com extremidades abertas, e expostos à umidade, deverão ser providos de aberturas para drenos e efetivamente protegidos contra a corrosão.

- Vigas seladas e perfis tubulares fechados, deverão ser inacessíveis ao ar e à umidade. Para este propósito, suas bordas deverão ser fechadas por meio de soldas contínuas e qualquer abertura deverá ser selada. Durante a montagem de tais componentes, cuidados deverão ser tomados para assegurar que a água não penetre e que não fique água retida no seu interior.

4.3.8 Entalhes

Entalhes em enrijecedores, abas ou componentes similares de construções devem ter raio de não menos do que 50 mm, para permitir adequada preparação da superfície e pintura. A figura 4.30 é apresentada no anexo D da norma.

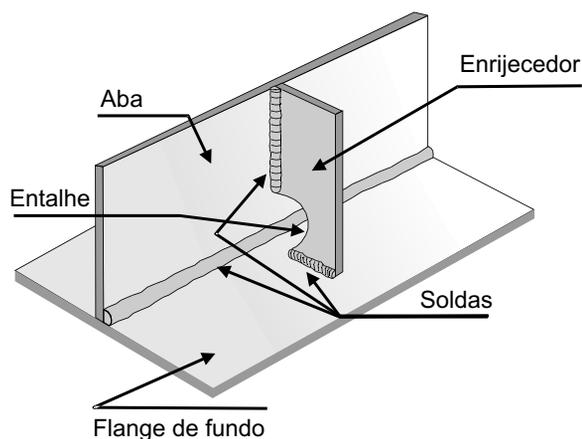


Figura 4.36 - O raio do entalhe não deverá ser menor que 50 mm

4.3.9 Enrijecedores

Quando enrijecedores são necessários, por exemplo entre a aba e a flange, é essencial que a interseção entre o enrijecedor e os componentes adjacentes sejam soldados em toda a volta, para prevenir a formação de frestas. O desenho do enrijecedor não deverá permitir a retenção de depósitos de água e deverá permitir acesso para a preparação de superfície e para a aplicação das tintas. Um desenho ilustrativo pode ser visto no anexo C da norma.

4.3.10 Prevenção de corrosão galvânica

Onde existir uma junção eletricamente condutora entre dois metais de diferentes potenciais eletroquímicos, em condições de exposição contínua, ou periódica à umidade (eletrólito), a corrosão do menos nobre dos dois metais irá ocorrer. A formação deste par galvânico também acelera a taxa de corrosão do menos nobre dos dois metais. A taxa de corrosão depende entre outros fatores, da diferença de potencial entre os dois metais em contato, suas áreas relativas e da natureza e do período de ação do eletrólito.

Portanto cuidados deverão ser tomados, quando são juntados componentes metálicos menos nobres (mais eletronegativos) com componentes metálicos mais nobres. Particular atenção deverá ser dada onde o componente metálico menos nobre tiver área superficial menor, em comparação com o de metal mais nobre. Não há objeção ao uso, sob condições menos severas, de presilhas ou ganchos feitos com aço inoxidável em componentes feitos com metais menos nobres. Arruelas tipo mola (por exemplo arruelas de travamento e arruelas serrilhadas), entretanto, não deverão ser usadas, pois elas podem causar grande diminuição da durabilidade da junta, já que provocam corrosão por fresta.

Se o projeto é tal que o par galvânico não pode ser evitado, as superfícies em contato deverão ser eletricamente isoladas, por exemplo pintando as superfícies dos dois metais. Se for possível pintar apenas uma das superfícies metálicas adjacentes à junção, esta deverá sempre que possível, ser a do metal mais nobre. Alternativamente, proteção catódica poderá ser considerada.

Devem ser evitadas ligações complicadas.

Nas superposições se acumulam agentes agressivos corrosivos e há formação de frestas por onde penetram as água de chuvas e os agentes corrosivos da poluição industrial.

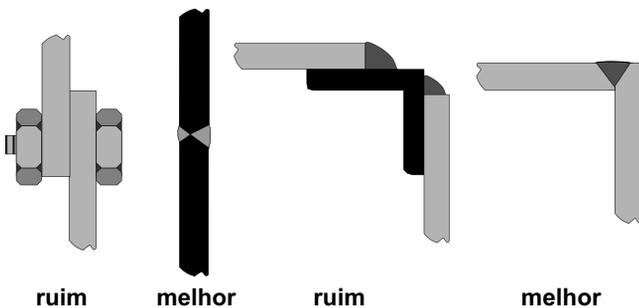


Figura 4.37 - É preferível que as ligações sejam simples

As uniões por solda evitam a formação de depressões, protuberâncias e frestas desnecessárias.

As ligações soldadas simples e as formas lisas e contínuas são preferíveis.

Uma estrutura tubular é mais adequada, quanto ao controle da corrosão, do que uma composta por cantoneiras. Do ponto de vista das tintas, a solução tubular apresenta maior facilidade de pintura. Se os tubos utilizados na estrutura tiverem suas extremidades tapadas com tampas perfeitamente soldadas, não há necessidade de pintar a parte interna, pois não entrando umidade, a corrosão do aço é mínima e totalmente insignificante.

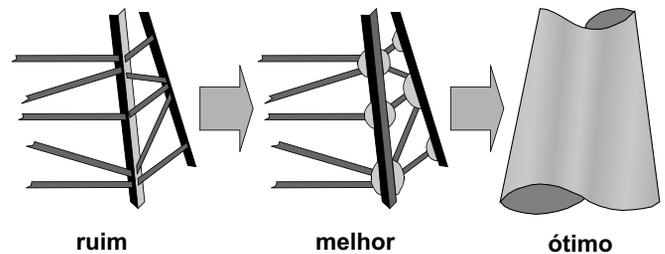


Figura 4.38 - A estrutura tubular é melhor do que a composta por cantoneiras, do ponto de vista da pintura

4.3.11 Manuseio, transporte e montagem

O manuseio, o transporte e a montagem da estrutura deverão ser levados em conta ainda na fase de projeto. Deverá ser considerado o método de elevação ou içamento e por isso, deverão ser previstos no projeto pontos de fixação, onde forem necessários. A necessidade de olhais e ganchos para suportar os componentes durante o içamento e durante o transporte deverão ser considerados. Precauções apropriadas deverão ser tomadas para prevenir danos à pintura durante o transporte, o içamento e as operações no local da montagem, como por exemplo soldagens, cortes e lixamentos.

A proteção contra a corrosão, tanto temporária como permanente, de pontos de conexões entre seções pré-fabricadas deverão ser consideradas na fase de projeto.

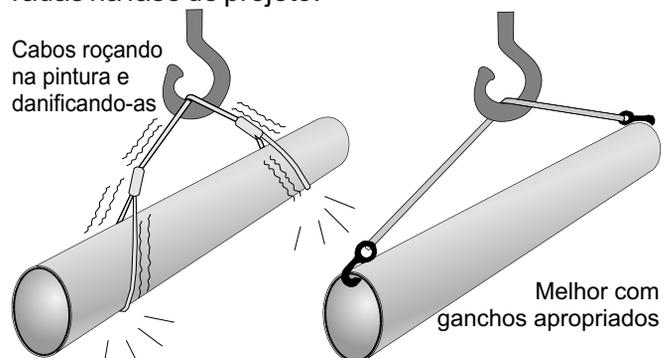


Figura 4.39 - Danos à pintura por transporte inadequado e como melhoras

4.4 Cuidados durante a execução da pintura



Figura 4.40 - A tinta deve ser aplicada em faixas mais largas do que o cordão de solda à pincel

Os cordões de solda e pontos de solda devem ter cuidados especiais pois são áreas que sofrem aquecimento até a fusão dos metais e por isso durante o resfriamento ficam sujeitas a tensões e formação de carepa e resíduos do fluxo de solda, que na maioria dos casos é solúvel em água (podem provocar bolhas por osmose). Além disso, geralmente são irregulares, com reentrâncias, furos e porosidade e formam pares bimetálicos (células de corrosão eletroquímica). Sempre que possível, estas regiões devem ser jateadas, ou pelo menos alisadas com discos abrasivos ou esmeril. A tinta deve ser aplicada em faixas mais largas do que o cordão ou o ponto de solda. O pintor deve bater o pincel cuidadosamente e esfregar a tinta na região, para que ela penetre nas irregularidades produzindo um reforço de pintura nestas regiões críticas. O reforço deve ser feito antes de cada demão normal aplicada depois, por pincel mesmo, por rolo ou por pistola.

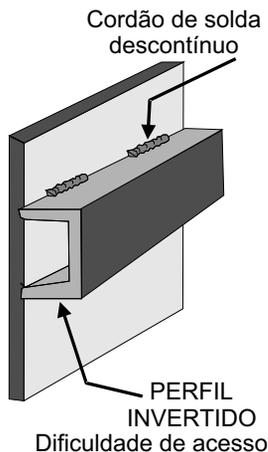


Figura 4.41 - Cordões de solda descontínuo favorecem a corrosão em frestas

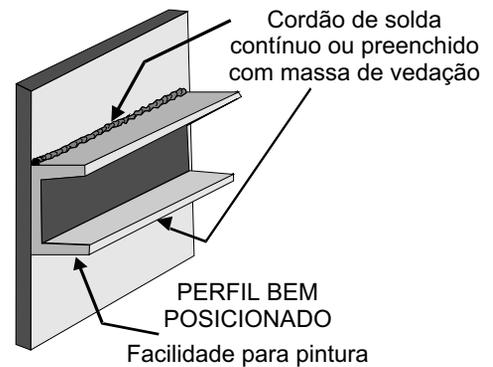


Figura 4.42 - Se o cordão não puder ser contínuo, melhor vedar as frestas com massa

Cordões de solda nem sempre podem ser contínuos. Para evitar as frestas provocadas pelo cordão descontínuo pode-se utilizar massa de vedação como as de silicone (difícil aderência das tintas) ou de poliuretano ou epóxi rígido ou flexível.

É necessário que antes da massa, seja aplicada uma tinta de fundo anticorrosiva (primer) adequada.

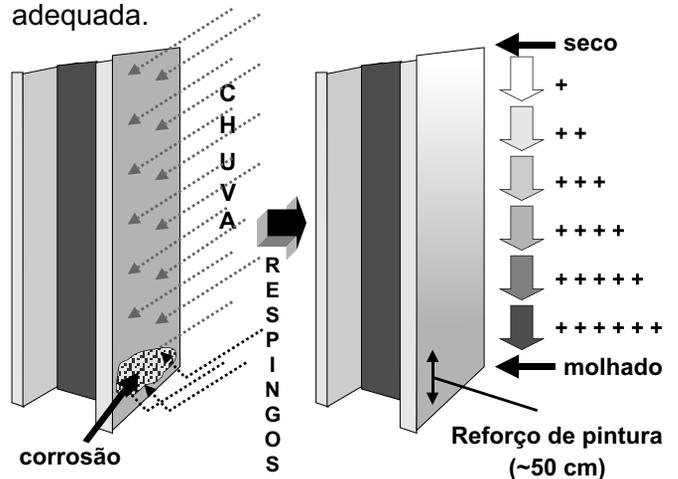


Figura 4.43 - Desenho demonstrando porque as partes baixas de colunas devem ser reforçadas

A pintura das partes mais baixas da estrutura deve ser feita com tintas mais resistentes à umidade ou com reforço de pintura até altura de aproximadamente 50 cm (pelo menos duas demãos da tinta usada no restante da estrutura).

Lembrar que após chuvas, a água desce por gravidade e os ventos secam as camadas de água mais finas. Os respingos de água do chão carregam areia ou argila que por serem higroscópicas permitem mais tempo de contato da água com a superfície pintada, aumentando a chance de permeação e conseqüente corrosão.

- DIAS, LUIS ANDRADE DE MATTOS - "*Estruturas de aço: conceitos, técnicas e linguagem*", Zigurate Editora, 1997 - São Paulo
- FAZANO, CARLOS ALBERTO T.V. - "*Tintas - Métodos de controle de pinturas e superfícies*", Hemus Editora Ltda - São Paulo
- FAZENDA, JORGE M.R. - "*Tintas e Vernizes - ciência e tecnologia*", Publicação ABRAFATI - Associação Brasileira dos Fabricantes de Tintas - São Paulo
- GENTIL, VICENTE - "*Corrosão*", Editora Guanabara - Rio de Janeiro
- GNECCO, CELSO - "*Pintura de manutenção industrial*", Publicação IPT nº 1558, Instituto de Pesquisas Tecnológicas - São Paulo
- GROSS, W.F. - "*Applications manual for painting and protective coatings*", New York, Mac Graw- Hill
- KEANE, J.D. - "*Good painting practice*", 2ª Ed. Pittsburgh, Steel Structures Painting Council
- KEANE, J.D. - "*Systems and specifications*", 3ª Ed. Pittsburgh, Steel Structures Painting Council
- MUNGERS, CHARLES G. - "*Corrosion prevention by protective coatings*", Houston, National Association of Corrosion Engineers - NACE
- NUNES, LAERCE DE P. & ALFREDO C.O.LOBO - "*Pintura industrial na proteção anticorrosiva*", Livros Técnicos - Rio de Janeiro
- NUNES NEY VIEIRA - "*Pintura industrial aplicada*", Maity Comunicação e Editora Ltda - Rio de Janeiro
- PANOSSIAN, ZEHBOUR - "*Corrosão atmosférica de metais no Estado de São Paulo*", Publicação IPT n. 1826 - Instituto de Pesquisas Tecnológicas - São Paulo
- PARKER, D.H. - "*Principles of surface coating technology*", New York, Interscience Publishers
- PAYNE, H.F. - "*Organic coating technology*", 4ª Ed. - New York, John Wiley
- SCHMID, ERIC V. - "*Exterior durability of organic coatings*", Surrey, England, FMJ International Publications Limited
- SOUZA, UBIRACI E. L. DE & CELSO GNECCO - "*Proteção contra a corrosão*", Publicação técnica PT 07 - Núcleo de Tecnologia da Construção Metálica - Escola Politécnica da USP
- SWARD, G.G. - "*Paint testing manual*", 13ª Ed. Philadelphia, American Society for Testing and Materials
- TANAKA, DENIOL K. - "*Corrosão e proteção contra corrosão de metais*", Publicação IPT nº 1127 - Instituto de Pesquisas Tecnológicas - São Paulo
- WEISMANTEL, G.E. - "*Paint handbook*", New York, Mac Graw - Hill
- WOLYNEC, STEPHAN - "*Proteção contra corrosão durante armazenamento e transporte*", Publicação IPT 1997 - Instituto de Pesquisas Tecnológicas - São Paulo

Agradecimento dos autores ao Eng. Fábio D. Pannoni pela colaboração em textos e conceitos.